
Dane pomiarowe maksymalnych sum opadów dobowych

V.1. Źródła i charakter danych

Podstawowym materiałem źródłowym, który wykorzystano w niniejszej pracy są publikowane w rocznikach „Opady Atmosferyczne” PIHM/IMGW²⁷ dane maksymalnych sum dobowych opadów rejestrowanych na stacjach meteorologicznych i posterunkach opadowych w poszczególnych miesiącach wielolecia 1956-80, uzupełnione datą wystąpienia maksymalnej rocznej sumy dobowej opadów. Obejmują one lata 1954-1981, zatem maksymalnym standardowym okresem wieloletnim, który może być opracowany na ich podstawie jest dwudziestopięciolecie. Oprócz danych z obszaru Polski udało się uzyskać z **Deutscher Wetterdienst (DWD)**, Niemiecka Służba Meteorologiczna) wartości dobowych sum opadów dla wszystkich punktów pomiarowych istniejących w latach 1956-80, a leżących na terytorium byłego NRD, w pasie około 30 km od granicy Polski (patrz załącznik XII.1). Korzystając z tych materiałów, samodzielnie przygotowano analogiczny zbiór maksymalnych miesięcznych i rocznych sum opadów dobowych. W sumie dysponowano bazą danych, na którą składało się 747 486 wartości maksymalnych opadów dobowych w poszczególnych miesiącach (średnio ok. 2492) i 61 940 dat/sum maksymalnych rocznych opadów dobowych (średnio ok. 2478). Lokalizacji, dla których istniały informacje o dacie wystąpienia rocznych MSDO było w istocie tylko 61 558. Różnica między obiema wyżej podanymi liczbami wynika z tego, że w tym samym punkcie notowano w roku dwukrotnie lub nawet w wyjątkowych sytuacjach trzykrotnie maksymalny opad o tej samej – w ramach dokładności pomiaru oczywiście – wysokości. Obecnie sieć pomiarowa opadów na terytorium Polski jest o ponad połowę mniejsza (Stachy 1999). Biorąc pod uwagę nizinny w przewadze charakter

²⁷ Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny zmienił swoją nazwę na obowiązującą aktualnie – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – w 1973 roku.

naszego kraju, zagęszczenie stanowisk pluwiometrycznych było w latach 1956-80 duże, a uzyskany w tym okresie materiał pomiarowy jest bardzo, z naukowego punktu widzenia, cenny.

Według wiedzy autora, dane te nigdy do tej pory nie były w całości analizowane i opracowane. Dlatego, w kolejnych rozdziałach sporządzono ich wszechstronną charakterystykę, która może być użyteczna nie tylko ze względu na główne zagadnienia poruszane w niniejszej rozprawie.

V.2. Błędy i niepewność danych

Błędy w analizie przestrzennej są związane zarówno z wynikami pomiarów rozpatrywanej cechy, jak i z określeniem lokalizacji stanowisk, gdzie owe pomiary wykonano (Gabrosek, Cressie 2002). W niniejszym opracowaniu mogły one pochodzić zarówno ze źródła danych (roczników opadowych), jak i zostać wprowadzone na etapie ich digitalizacji. W celu zminimalizowania możliwości zaistnienia drugiej z wymienionych wyżej ewentualności, po dokonaniu archiwizacji elektronicznej dane MSDO były dwukrotnie sprawdzane – zarówno przez osobę dokonywującą archiwizacji, jak i przez kogoś drugiego. W wielu wypadkach dotyczyły złej jakości druku Roczników bądź ich znacznego w ciągu wielu lat zużycia. Sugerowano się wówczas wartościami zarejestrowanymi w sąsiadujących stanowiskach. Identyfikacja błędnych wpisów w oryginalnej analogowej bazie była znacznie trudniejsza. Oczywiście, najłatwiej było wyselekcjonować wartości nierealne, na przykład współrzędne stanowisk pomiarowych wskazujące na lokalizacje usytuowane setki kilometrów od obszaru Polski. Wątpliwe wyniki pomiarów MSDO identyfikowano w trakcie analizy wariograficznej (autokorelacji) opisanej w podrozdziałach III.2.5.7 i III.2.5.8 oraz w dodatku X.5. Mogły być one jednak efektem zarówno błędów pomiarowych, jak i autentycznych anomalnych opadów, na przykład orograficznych. Dane te były eliminowane z obliczeń i modelowania struktury przestrzennej, ale uwzględniano je przy estymacjach i symulacjach. Ważnym elementem weryfikacji elektronicznej bazy danych było zestawienie alfabetyczne lokalizacji punktów pomiarowych dla całego wielolecia. Pozwalało to wówczas na odróżnienie z dużym prawdopodobieństwem, tych przypadków kiedy stanowisko pomiarowe zostało przeniesione z roku na roku w inne miejsce w tej samej miejscowości (zmiany współrzędnych rzędu 1-3 minut kątowych), od ewidentnie błędnych wpisów. Zdarzały się bowiem sytuacje, kiedy stanowisko istniejące przez wiele lat w tej samej lokalizacji, nagle

podawane jest ze współrzędnymi wskazującymi na miejsce odległe o kilkadziesiąt, czy nawet kilkaset kilometrów. W przypadku dwóch lat – 1960 i 1962 – w rocznikach w ogóle nie podano współrzędnych posterunków opadowych. Niestety, nie było praktycznej możliwości weryfikacji wątpliwości poprzez konfrontację z oryginalną bazą danych przechowywaną w IMGW. Trzeba wyraźnie podkreślić, że mimo bardzo dużej staranności w trakcie przygotowywania bazy danych nie udało się wyeliminować wszystkich błędów. Kilkakrotnie na różnych etapach analizy identyfikowano wartości, które z różnych względów można byłoby zakwestionować. Niestety, opcja powtórzenia obliczeń nie wchodziła już w grę. Można jedynie wskazać, że ze względu na rozmiary wykorzystywanej bazy danych pojedyncze błędne wartości nie powinny znacząco wpływać na uzyskane wyniki.

Istotnym źródłem niepewności uzyskanych w niniejszej pracy wyników analiz przestrzennych jest niska dokładność lokalizacji stanowisk pluwiometrycznych. Lokalizację zarówno polskich, jak i niemieckich stacji pomiarowych znano bowiem z dokładnością do jednej minuty długości i szerokości geograficznej. Zostały one przeliczone na współrzędne płaskie w jednostrefowym układzie GUGIK 1992 (z południkiem osiowym 19°). Błędy algorytmu transformacji oraz związane z odwzorowaniem nie przekraczają na terytorium Polski 0,5 m, a więc są nieistotne w stosunku do poziomu dokładności lokalizacji punktów pomiarowych. Zmiana długości geograficznej o jedną minutę przy 49° szerokości geograficznej oznacza w układzie 1992 odległość około 1313 m, a przy 55° – 1089 m. Przesunięcie o jedną minutę szerokości geograficznej oznacza w tych samych dwóch położeniach różnicę odpowiednio: 1914 i 1865 m. Tego rzędu niepewność lokalizacji (600-900 m) jest do pominięcia, jeśli wykonujemy analizę opierając się na kilkunastu – kilkadziesiątu stanowiskach odległych od siebie o kilkadziesiąt do stu kilkadziesiątu kilometrów. Rejestrujemy wówczas jedynie zmienność regionalną, ignorując czynniki lokalne związane na przykład z topografią terenu²⁸. W niniejszej pracy dysponowano jednakże dla każdego terminu zbiorem ponad dwóch tysięcy stanowisk pomiarowych. Według dokonanych obliczeń (patrz podrozdział V.4) średnia odległość między najbliższymi stanowiskami wynosiła w wieloletciu około 7,3 km. Niepewność położenia mogła zatem maksymalnie wynosić około ¼ tego dystansu. Założono jednak, bo nie było żadnych podstaw do innych ocen, że rozkład błędów określenia położenia stanowisk pomiarowych, przy tak dużej próbie, można traktować jako czysto losowy. Innym, ważnym, a nie wyjaśnionym jednoznacznie problemem, jest źródło na podstawie którego pracownicy PIHM / IMGW określali

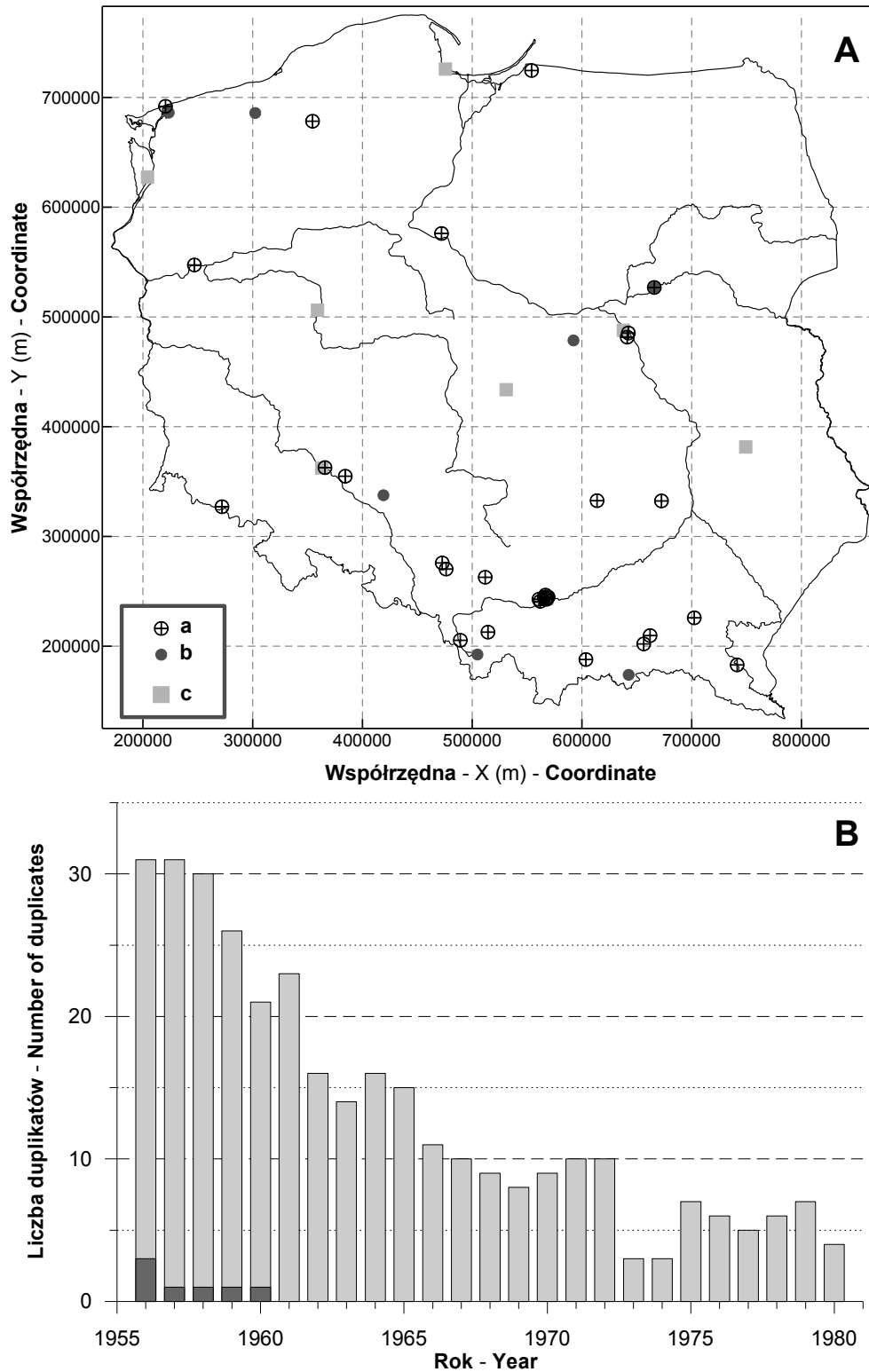
²⁸ Na obszarach górskich wspomniany wyżej zakres niepewności lokalizacji może się wiązać z zasadniczymi różnicami w reżimie opadów związanymi z piętrami wysokościowymi, czy też odmienną ekspozycją.

współrzędne położenia tworzonych, a później ewentualnie przenoszonych posterunków pomiarowych. Wiadomo, że były one odczytywane z map topograficznych w skali 1 : 100 000, lecz niestety nie wiadomo dokładnie jakich. Rozpoczynając pracę nad analizą MSDO założono, że były to mapy w układzie „1942”. Istnieje jednakże wysokie prawdopodobieństwo, że w latach pięćdziesiątych XX wieku korzystano jedynie z map WIG w układzie „Borowa Góra”. Ponieważ układy odniesienia (elipsoida, punkt przyłożenia) w obu systemach były odmienne, te same współrzędne geograficzne oznaczają w rzeczywistości nieco inne lokalizacje. Różnice w obrębie Polski wynoszą od około 80 do około 190 m. Były to jednak błąd systematyczny, bardzo łatwy do skorygowania. Gorzej, jeśli w trakcie rozbudowy sieci, w różnych latach korzystano z różnych map do określenia położenia nowych stanowisk. Jakkolwiek podany wyżej przedział różnic lokalizacji nie jest duży, zwiększałby on jednak znacząco niepewność określenia lokalizacji związaną z minutową rozdzielczością podawanych w Rocznikach Opadowych współrzędnych. Sprawdzono także, na przykładzie kilku posterunków lotniskowych, czy w analizowanym wieloleciu nie było zmiany współrzędnych, które mogłaby sugerować ponowne ich określenie na podstawie innego podkładu topograficznego. Niczego takiego nie stwierdzono.

Analizę struktury przestrzennej (wariograficzną) przeprowadzono dla klas przedziałów odległości stanowisk co 2,5 km. Bardzo duża – i nieznana – liczba porównywanych par wartości MSDO było z pewnością przydzielane do nie właściwych klas. Dla odległości powyżej 10 km nie miało to w zasadzie żadnego znaczenia ze względu na liczebność próby przekraczającej zazwyczaj kilka tysięcy. Wyraźny jednak efekt tej właściwości analizowanych danych był dostrzegany jednak dla pierwszych trzech odstępów, gdzie liczba porównywanych par oscylowała od kilku do kilkuset. Objawiało się to często, szczególnie w przypadku semiwariogramów danych kodowanych, chaotycznymi zmianami wartości semiwariancji (patrz ryc. 15). Zagadnienie to zostało szerzej omówione w podrozdziale III.2.5.8.

Innym ważnym problemem związanym z niską precyzją lokalizacji posterunków opadowych było występowanie w każdym analizowanym zbiorze danych miesięcznych i rocznych punktów o takich samych współrzędnych. Były to stanowiska o odmiennych nazwach i różnych rzędnych wysokości terenu, ale położone na tyle blisko siebie, że nie przekraczało to 1 minuty długości i szerokości geograficznej. Dla większości algorytmów estymacji i symulacji jest to niedopuszczalne. Stosuje się wówczas szereg automatycznych procedur powodujących albo eliminację jednego bądź obu zdublowanych stanowisk lub też

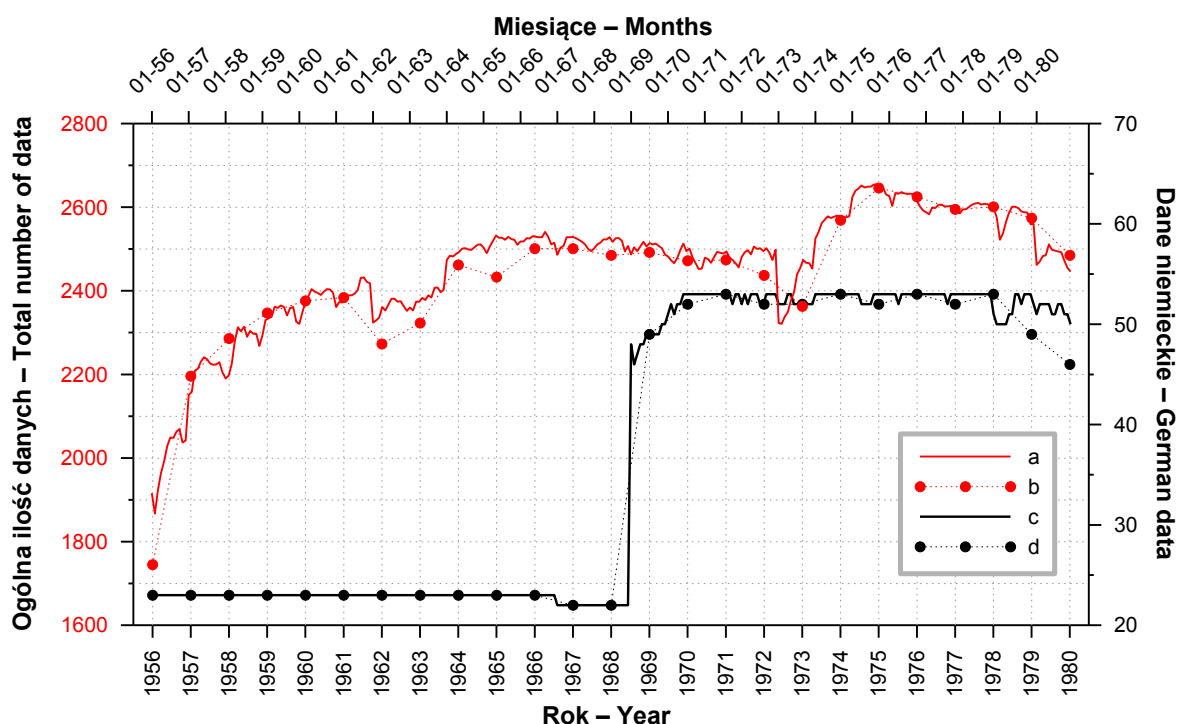
uśrednianie zmierzonych na nich wartości. W niniejszej pracy zdecydowano się na nieco inne rozwiązanie. Przy analizie zmienności przestrzennej MSDO dane takie były bowiem bardzo cenne. Umożliwiały ocenę owej zmienności na bardzo niewielkich dystansach. Biorąc bowiem pod uwagę niepewność lokalizacji, wynoszącą w różnych miejscach Polski $\pm 0,6-0,9$ km i przyjęty krok izotropowej analizy autokorelacji przestrzennej równy 2,5 km (patrz podrozdział VI.3), można było z dużym prawdopodobieństwem przypuszczać, że wszystkie stanowiska o takich samych współrzędnych geograficznych znajdują się w tak zwanym zerowym (połówkowym) odstępnie, wynoszącym 1,25 km. Rzeczywista odległość między nimi, jakkolwiek ważna, ma tutaj znaczenie drugorzędne. Zdecydowano się zatem punktom o tych samych współrzędnych przypisywać losowo nowe położenie w odległości $\pm 0,5$ km od wyliczonego i całą dalszą procedurę wykonywać na takich danych. Zapewniało to z jednej strony pożądane informacje o zmienności MSDO na krótkich dystansach, a z drugiej, przy przyjętej rozdzielczości siatki estymacji i symulacji wynoszącej 1×1 km wystarczający poziom „wygładzania” pomiarów „odstających” ze względu na niepewność określenia ich lokalizacji. Trzeba jednak dodać, że liczba „zduplikowanych” ze względu na położenie stanowisk jest zróżnicowana zarówno geograficznie, jak i czasowo (ryc. 22). Najwięcej lokalizacji pomiarowych, bo około 30, o identycznych współrzędnych było w trzech pierwszych latach analizowanego wielolecia (ryc. 22B). Wtedy również istniały takie przypadki, że identyczne położenie miały aż trzy stanowiska! Przez kolejne 10 lat od roku 1959 trwał dość szybki spadek liczby „duplikatów” – do poziomu około 10. Minimalną ilość takich stanowisk pomiarowych – tylko po 3 – istniała w latach 1973 i 1975. W drugiej połowie lat siedemdziesiątych ich liczba oscylowała między 4 a 7. W latach pięćdziesiątych i pierwszej połowie sześćdziesiątych znajdowały one przede wszystkim na południu Polski (ryc. 22A), z największym zgęszczeniem w obrębie krakowskiej sieci pomiarowej opadów atmosferycznych. Na obszarze Nizy takich lokalizacji było tylko kilka. W latach siedemdziesiątych ich rozmieszczenie na obszarze kraju było z grubsza równomierne.



Ryc. 22. Rozmieszczenie i liczba stanowisk pomiaru opadów atmosferycznych w wieloleciu 1956 – 1980 o identycznych współrzędnych lokalizacji: A – rozmieszczenie takich stanowisk w roku 1956 (a) i 1975 (b); symbolem (c) oznaczono położenie głównych miast; B – zmiany liczby w kolejnych latach wielolecia; ciemniejszym odcieniem zaznaczono liczbę przypadków, gdzie aż trzy stanowiska miały takie same współrzędne.

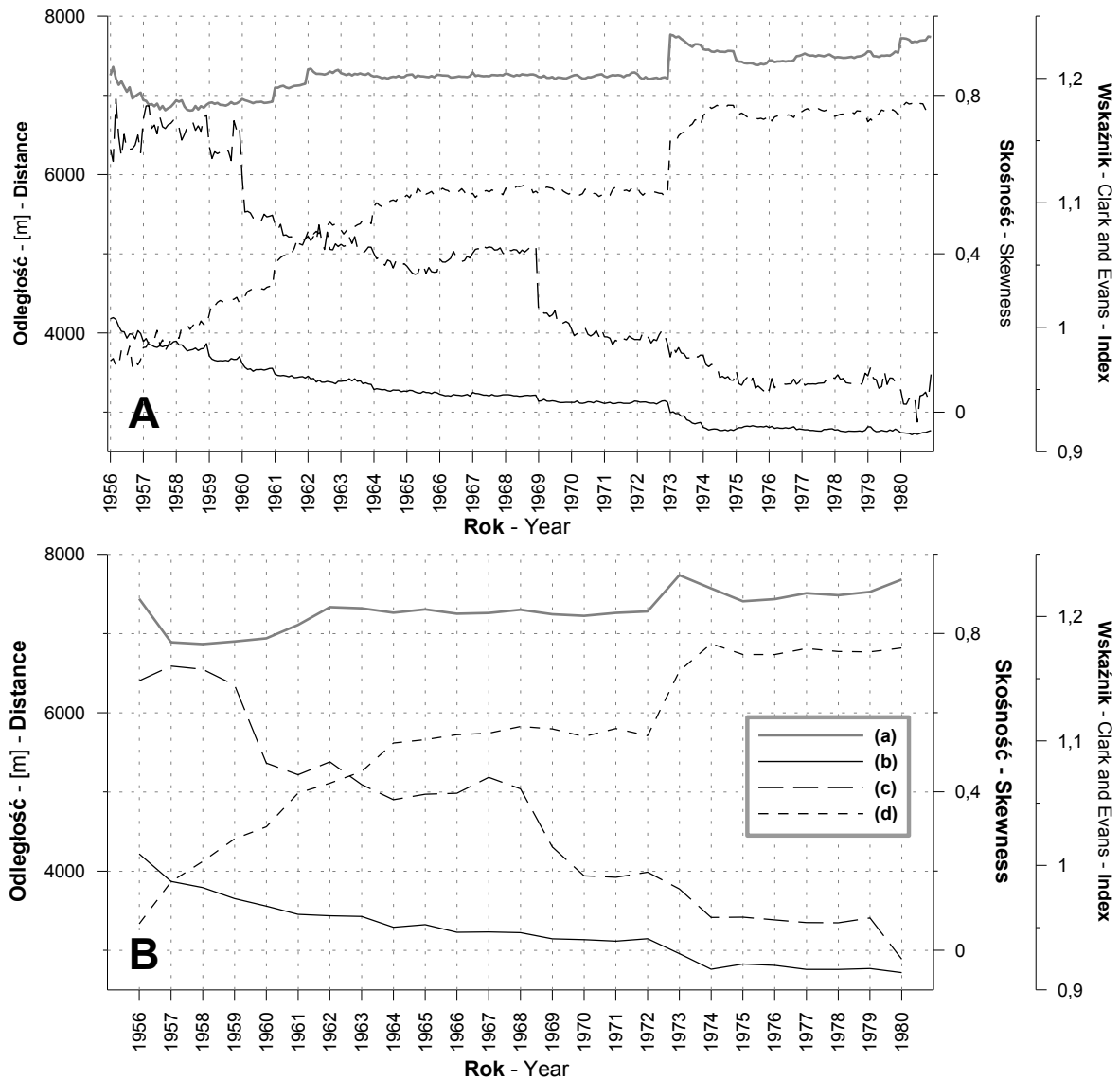
V.3. Zmienność liczby stanowisk pomiarowych

W rozpatrywanej serii 25 lat, na podstawie zmian liczebność sieci pomiarowej opadów atmosferycznych na terenie Polski²⁹ można wyodrębnić kilka okresów (ryc. 23). Najpierw do końca 1961 trwał szybki, a później stopniowo słabnący trend zwiększania ilości stanowisk – od 1867 w lutym 1956 roku do 2432 w październiku 1961. Od stycznia 1962 po stosunkowo niewielkim (około 100 punktów), ale raptownym spadku, liczba stanowisk stopniowo rosła osiągając ponownie poziom około 2400 we wrześniu roku 1963. Na początku roku 1964 nastąpił skokowy – o około 80 – wzrost i wciągu następnych blisko 10 lat, do grudnia roku 1972, liczba punktów pomiarowych oscylowała wokół 2500. W styczniu roku 1973, w porównaniu z poprzednim miesiącem, funkcjonowało o 175 stacji mniej. Następnie, przez ponad dwa lata sieć pomiarowa była intensywnie rozbudowywana, osiągając maksymalnie 2654 lokalizacje w sierpniu i wrześniu 1975 roku. Od tego momentu trwała początkowo powolna, a w roku 1980 znacznie przyspieszająca tendencja do likwidacji części posterunków.



Ryc. 23. Zestawienie liczby pomiarów MSDO w Polsce i w Niemczech, które wykorzystano w niniejszym opracowaniu: a – dane miesięczne z Roczników Opadów PIHM/IMGW, b – dane roczne z Roczników Opadów PIHM/IMGW, c – miesięczne dane z przygranicznej strefy na obszarze Niemiec, d – roczne dane z przygranicznej strefy na obszarze Niemiec.

²⁹ Podawane poniżej liczby dotyczą rzeczywistej ilości danych zgromadzonych w rocznikach „Opady Atmosferyczne”, a nie liczby wymienianych lokalizacji. Nie są zatem uwzględniane stanowiska, które istniały, ale dla których w konkretnych terminach nie było wyników (braki danych).



Ryc. 24. Statystyki odległości najbliższego sąsiada i losowości rozkładu przestrzennego punktów pomiarowych, dla których analizowano MSDO opadów, w kolejnych miesiącach (A) i latach (B) wielolecia 1956-1980: (a) – średnia odległość do najbliższego sąsiada, (b) – odchylenie standardowe odległości do najbliższego sąsiada, (c) – skośność odległości do najbliższego sąsiada, (d) – wskaźnik Clarka i Evansa losowości rozkładu przestrzennego.

W polskiej sieci pomiarowej, oprócz dużych zmian liczebności związanych z powstawaniem i likwidacją stanowisk, wyraźnie widoczny jest cykl sezonowy: mniej danych zimą – więcej w pozostałych porach roku, z maksimum latem. Te różnice wynoszą od około 20 do ponad 60 rocznie. W danych pochodzących z Niemiec takich fluktuacji nie było (ryc. 23). W uwzględnianej w pracy, przygranicznej strefie o szerokości 30 km, istniały w latach 1956-1966 23 posterunki opadowe. Przez następne dwa lata było ich o jeden mniej. W roku 1969 i na początku 1970 postępowała rozbudowa sieci. W połowie roku 1970 liczba

stanowisk ustabilizowała się na poziomie 53, i tak już pozostało do końca analizowanego okresu. Zatem do roku 1969 dane pochodzące z byłego NRD stanowiły około 1% analizowanego zbioru danych, później ich udział zwiększył się do około 2%.

Komentarza wymagają relacje pomiędzy ilością danych MSDO miesięcznych i rocznych. W dziesiątkach przypadków w rubryce daty maksymalnego rocznego opadu dobowego istniał wpis, mimo że nie było kompletu wartości miesięcznych. Taka sytuacja miała pełne uzasadnienie, kiedy z danych z leżących obok posterunków, posiadających kompletny rejestr, wynikało jednoznacznie, że maksymalny roczny opad dobowy nie mógł wystąpić w miesiącach, dla których istniały luki pomiarowe. Dlatego, w większości analizowanego okresu nie ma większych różnic między ilością danych miesięcznych względem rocznych. Jak wspomniano uprzednio, luki pomiarowe zazwyczaj występowały w miesiącach zimowych, kiedy istniało znikome prawdopodobieństwo wystąpienia rocznego maksymalnego opadu dobowego.

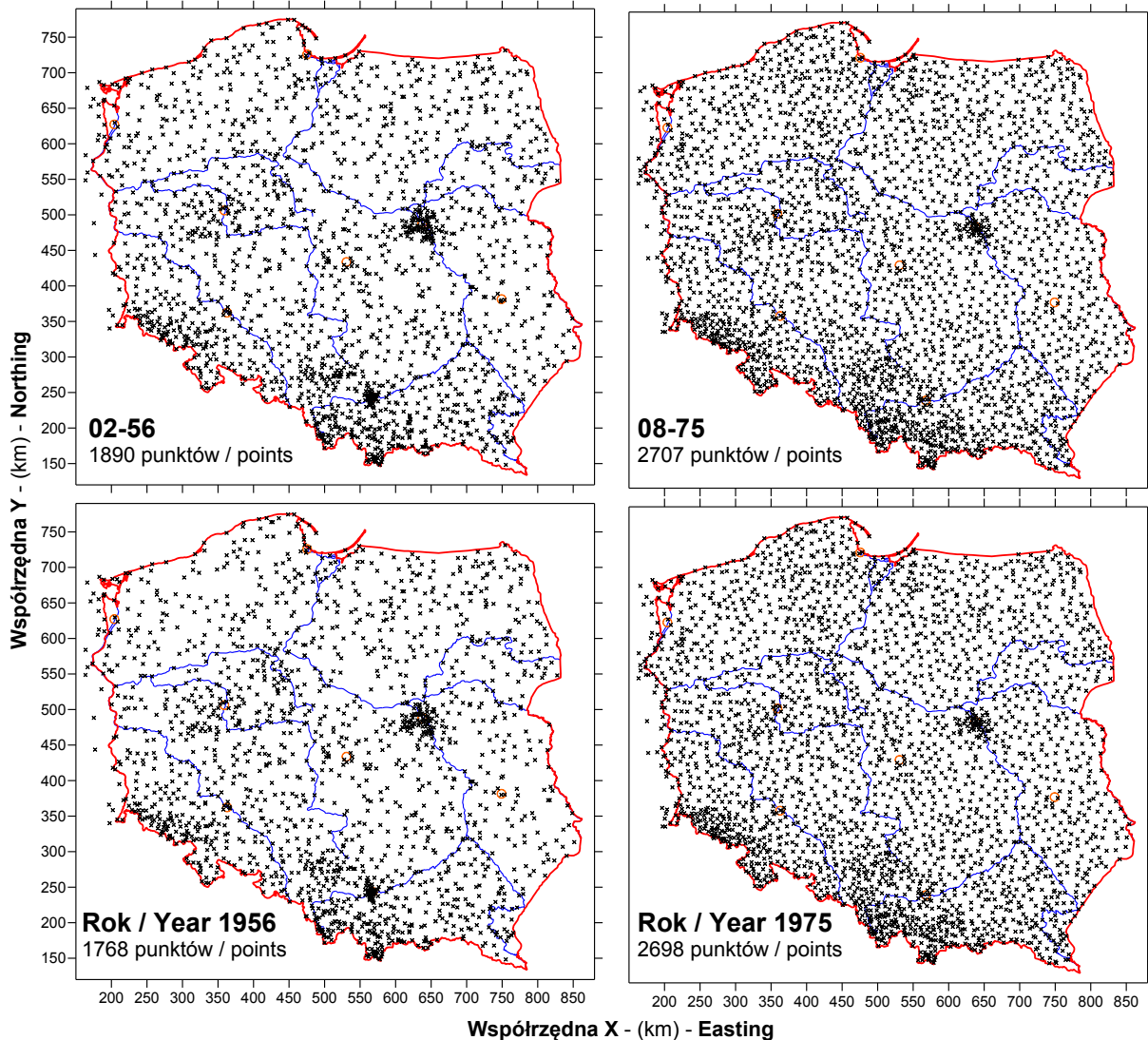
V.4. Rozmieszczenie przestrzenne stanowisk pomiarowych

Nieco inny obraz daje zmienność wskaźników charakteryzujących rozmieszczenie przestrzenne posterunków opadowych, z których pozyskano dane analizowane w niniejszym opracowaniu (ryc. 24). Pokazuje ona, że zmiany „organizacji przestrzennej” sieci pomiarowej nie są ściśle związane ze zmianami jej liczebności. Jako syntetyczne miary rozkładu przestrzennego punktów pomiarowych użyto statystyki najbliższego sąsiada NNS (ang. *Nearest Neighbor Statistics*)³⁰: średnią odległość, odchylenie standardowe i skośność odległości oraz wskaźnik Clarka-Evansa³¹ losowości rozkładu przestrzennego. Każdy z wymienionych wyżej wskaźników charakteryzuje nieco inne aspekty zagadnienia. Najbardziej konsekwentny przebieg ma krzywa odchylenia standardowego. Jej wartość, oprócz kilku niewielkich fluktuacji w pierwszym pięcioleciu, przez cały analizowany okres spadała od 4,2 km w lutym 1956 roku do 2,7 km w maju 1980 roku. Najszybszy spadek miał miejsce do roku 1964 (do poziomu 3,26 km). Później, szczególnie w latach 1969-1973 zmiany były minimalne. Kolejny okres szybszego spadku SD odległości NN trwał w roku

³⁰ Wyniki tych obliczeń są zawarte na załączonym DVD.

³¹ Wskaźnik Clarka-Evansa (Cressie 1993) jest to stosunek między rzeczywistą średnią odległością od najbliższego sąsiada a oczekiwaną dla rozkładu losowego. Wartości niższe od jedności wskazują na występowanie skupień punktów, wyższe – na bardziej regularny ich rozkład (np. dla regularnej siatki heksagonalnej wartość wskaźnika wynosi 2,15). Zakres jego zmienności w analizowanym zbiorze danych, to jest od 0,95 do 1,18, wskazuje generalnie losowy charakter rozkładu.

1973 (od 3,14 do 2,77 km). Średnia odległość NN zmieniała się w całym 25-leciu bardzo niewiele: od 6,8 km w czerwcu 1958 roku do blisko 7,8 km w styczniu 1973 roku, czyli około 12%. W tym samym czasie liczebność zbioru zmieniała się przecież o 30% (od 1890 do 2707). Przez 220 miesięcy (73% czasu) wartość średniej odległości mieściła się w przedziale 7,1–7,6 km.



Ryc. 25. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w miesiącach i latach z najmniejszą oraz największą ich liczbą.

Uzupełnieniem obrazu rozkładu przestrzennego punktów pomiarowych, który się rysuje na podstawie analizy średniej odległości do najbliższego sąsiada i jej odchylenia standardowego, jest skośność tego samego parametru. Najwyższe jego wartości (0,65–0,8) i jednocześnie wykazujące największe fluktuacje miały miejsce pod koniec lat pięćdziesiątych. Największy spadek skośności odległości NN nastąpił między grudniem roku 1959 a lutym

roku 1960 (z 0,723 do 0,505). Później znacznie wolniejsze obniżanie się wartości skośności trwało do kwietnia 1965 roku (do poziomu 0,348). Do grudnia 1968 roku wartość tego parametru lekko wzrosła (do około 0,410), by następnie utrzymywać się na stałym poziomie. Potem miało miejsce gwałtowne jego obniżenie – do poziomu 0,252. Przez pozostałe 12 lat wartość skośności odległości NN malała. Nieco szybsze tempo redukcji było widoczne w latach 1973–1975, podczas gdy później utrzymywało się na prawie stałym poziomie.

Analizowane powyżej statystyki ilustrują generalną tendencję do bardziej równomiernego rozmieszczenia punktów pomiarowych w sieci. Jej jednoznacznym przejawem jest spadek odchylenia standardowego i skośności odległości do najbliższego sąsiada (do zera w roku 1980). W połączeniu z niewielkim wzrostem średniej odległości NN świadczy to, że dodatkowe punkty pomiarowe lokowane były głównie tam, gdzie ich zagęszczenie do tej pory było najmniejsze – a co za tym idzie, gdzie były najdalej od siebie oddalone. Ten sam skutek byłby oczywiście widoczny, gdyby jednocześnie (lub zamiast tego) likwidowano lokalne skupienia punktów. Proces ten rzeczywiście miał miejsce w odniesieniu do obszaru aglomeracji krakowskiej i warszawskiej (ryc. 25).

Zmiany w rozmieszczeniu posterunków opadowych na analizowanym obszarze w 25-leciu 1956-80 postanowiono zilustrować przez porównanie miesięcy i lat z najmniejszą i największą ich liczbą (ryc. 25-32, tab. 4). Są to luty 1956 roku z 1890 punktami i sierpień 1975 z 2707 punktami pomiarowymi. Najmniejszą liczbą – 1768 – danymi rocznych MSDO dysponowano dla roku 1956, największą – 2698 – dla roku 1975. Spojrzenie na mapy lokalizacyjne (ryc. 25) pozwala na szybkie uchwycenie najważniejszych różnic. Oprócz wyraźnego wzrostu liczby stanowisk daje się zauważyć:

- obecność w 1956 roku specjalnych sieci miejskich w aglomeracji warszawskiej i krakowskiej; widoczne są również wyróżniające się zagęszczenia stanowisk pomiarowych na zachód od Poznania, w zachodnich Sudetach, na Górnym Śląsku i w Zachodnich Karpatach,
- bardziej równomierne rozmieszczenie w roku 1975 posterunków opadowych; zaznaczało się jedynie wyraźnie wyższe ich zagęszczenie w Sudetach, na Górnym Śląsku i w Zachodnich Karpatach; w tym czasie sieć krakowska już nie istniała, a warszawska była znacząco mniejsza.

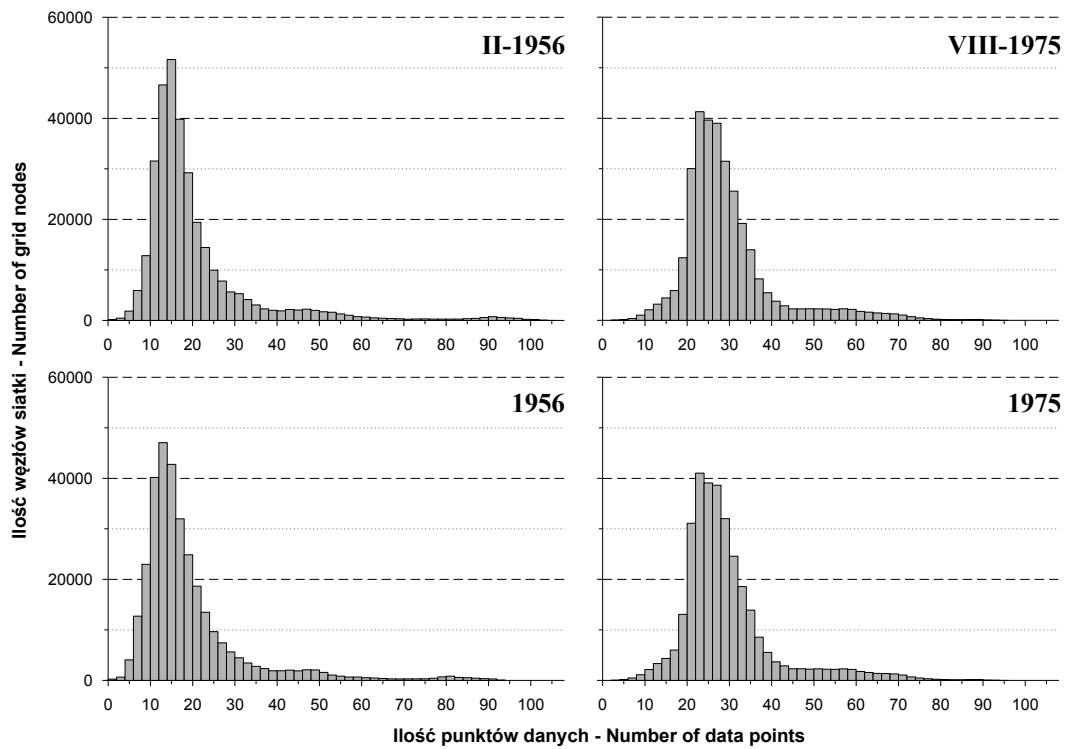
Bardziej subtelne różnice widoczne są na kolejnych rycinach 26-32 i w tabeli 4. Posłużono się przy ich konstrukcji wynikami obliczeń statystyk lokalnych w ruchomym oknie

dla siatki interpolacyjnej o rozmiarach 1 na 1 km (1 km²). Wykorzystano dwie miary gęstości przestrzennej danych: odległości od węzła siatki do najbliższego punktu danych oraz liczby punktów danych znajdujących się w promieniu 35 km od węzła (powierzchnia 3848,5 km²). Promień 35 km wybrano dlatego, ponieważ w terminach pomiarów o najmniejszej ilości danych maksymalna odległość do węzła siatki interpolacyjnej wynosiła około 34600 m (punkt siatki o współrzędnych w układzie 1992/19: X = 786 000 i Y = 133 000 m; południowo-wschodni kraniec Polski w Bieszczadach). Biorąc pod uwagę możliwy maksymalny błąd określenia lokalizacji najbliższego posterunku opadowego (Wetlina), przyjęta długość promienia (35 km) powinna gwarantować, że w sąsiedztwie węzła siatki interpolacyjnej zawsze będzie się znajdować co najmniej jeden punkt pomiarowy.

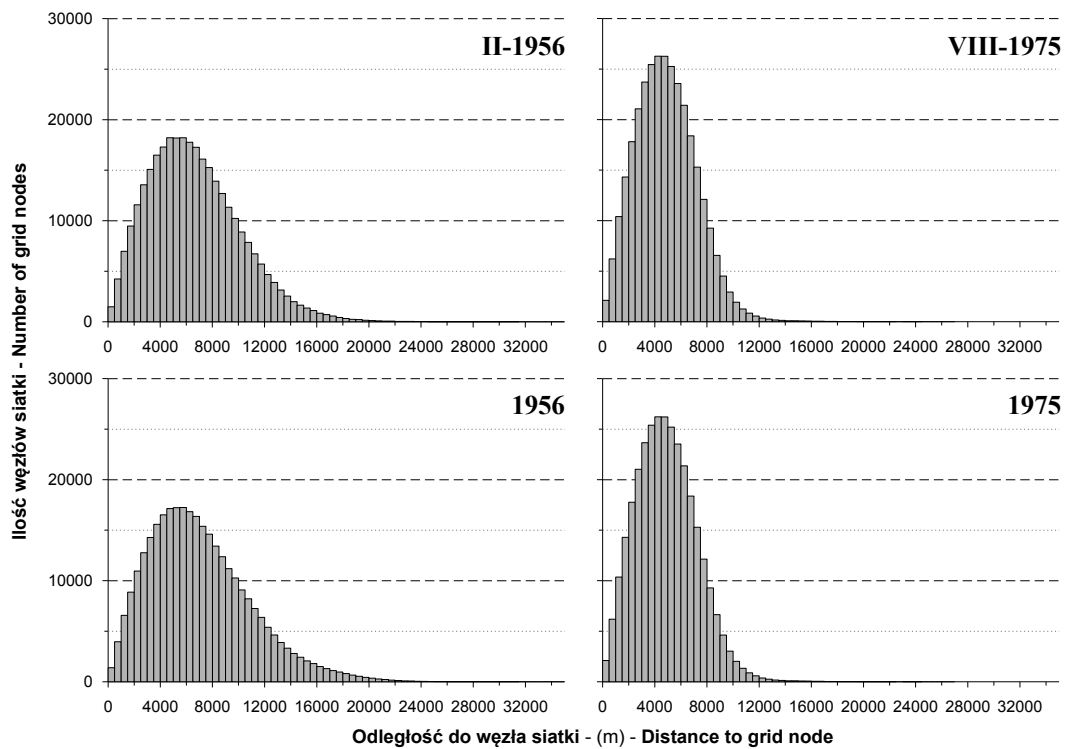
Tabela. 4. Statystyki lokalne liczby punktów danych w promieniu 35 km od węzła siatki interpolacyjnej 1×1 km, oraz odległości od węzła do najbliższego punktu danych dla miesięcy i lat z najmniejszym i największym zagęszczeniem sieci pomiarowej.

| Parametr | Parameter | Ilość punktów - Number of points | | | |
|--------------------------|--------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | | 02-56 | 08-75 | 1956 | 1975 |
| Liczebność | Number of values | 319114 ³² | 319114 | 319114 | 319114 |
| Minimum | Minimum | 1 | 3 | 1 | 3 |
| Maksimum | Maximum | 106 | 95 | 94 | 95 |
| Średnia | Mean | 21 | 30 | 19,6 | 29,9 |
| Mediana | Median | 17 | 27 | 16 | 27 |
| 1 kwartył | First quartile | 14 | 23 | 12 | 23 |
| 3 kwartył | Third quartile | 22 | 33 | 22 | 33 |
| Odch. standardowe | Standard deviation | 13,7 | 11,2 | 12,8 | 11,2 |
| Skośność | Skew | 2,918 | 1,907 | 2,700 | 1,893 |
| Kurtoza | Kurtosis | 10,429 | 4,639 | 9,025 | 4,616 |
| | | Odległość - Distance (m) | | | |
| Minimum | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maksimum | Maximum | 34589 | 26663 | 34589 | 26663 |
| Średnia | Mean | 6660 | 4880 | 7066 | 4891 |
| Mediana | Median | 6245 | 4730 | 6506 | 4737 |
| 1 kwartył | First quartile | 4026 | 3173 | 4166 | 3177 |
| 3 kwartył | Third quartile | 8817 | 6389 | 9341 | 6402 |
| Odch. standardowe | Standard deviation | 3533 | 2328 | 3907 | 2337 |
| Skośność | Skew | 0,769 | 0,630 | 0,855 | 0,631 |
| Kurtoza | Kurtosis | 1,033 | 1,445 | 0,954 | 1,415 |

³² Siatka interpolacyjna obejmowała całe terytorium lądowe Polski, Zalew Szczeciński, część polską Zalewu Wiślanego, Zatokę Pucką, a także strefę o szerokości 2 km poza granicami (patrz dodatek X.6).



Ryc. 26. Frekwencja ilości punktów danych w promieniu 35 km od węzła siatki interpolacyjnej 1×1 km dla miesięcy i lat w wieloleciu 1956–80 z najmniejszym i największym zagęszczeniem sieci pomiarowej.

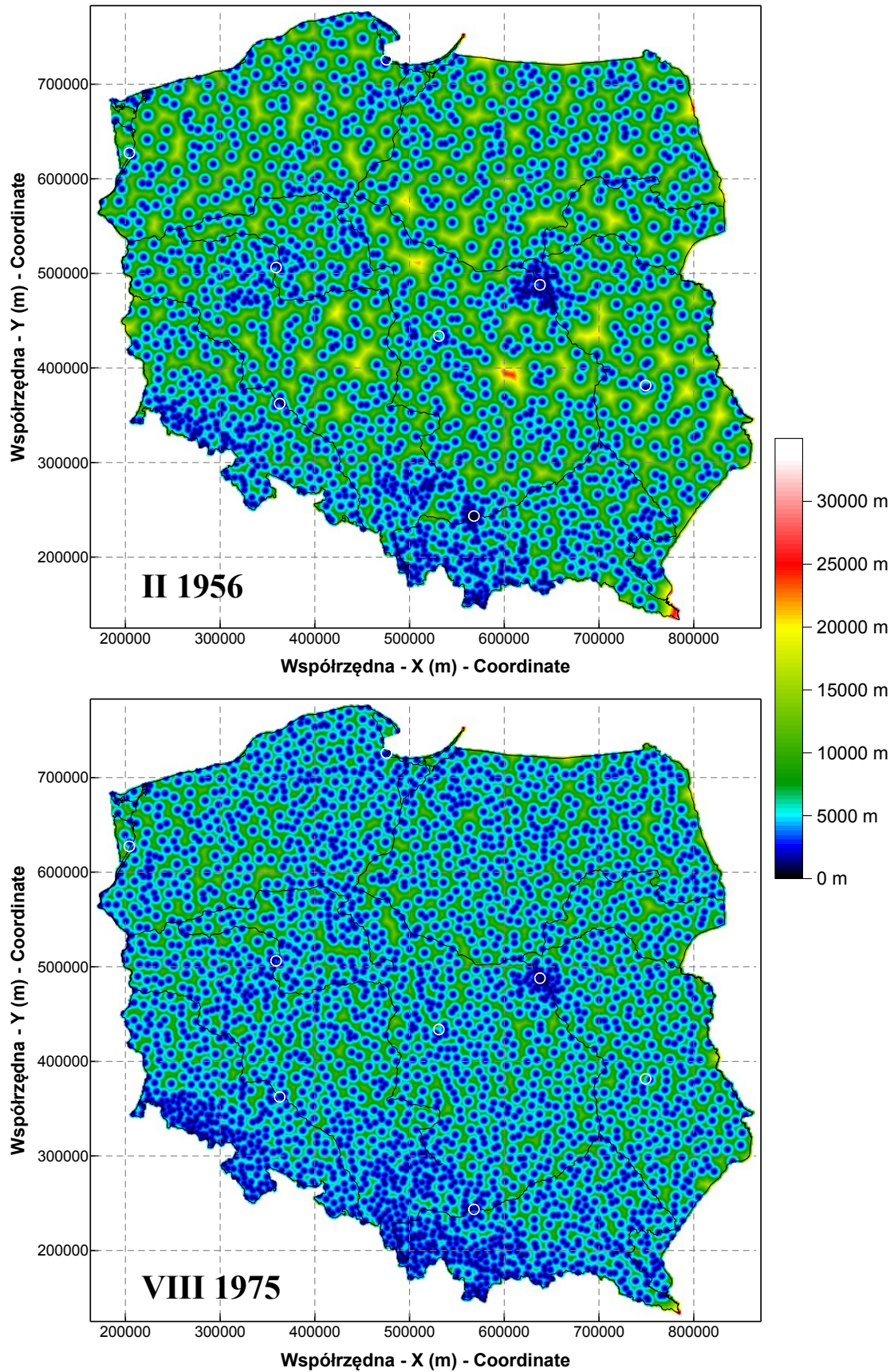


Ryc. 27. Frekwencja odległości od węzła siatki interpolacyjnej 1×1 km do najbliższego punktu danych dla miesięcy i lat w wieloleciu 1956-1980 z najmniejszym i największym zagęszczeniem sieci pomiarowej.

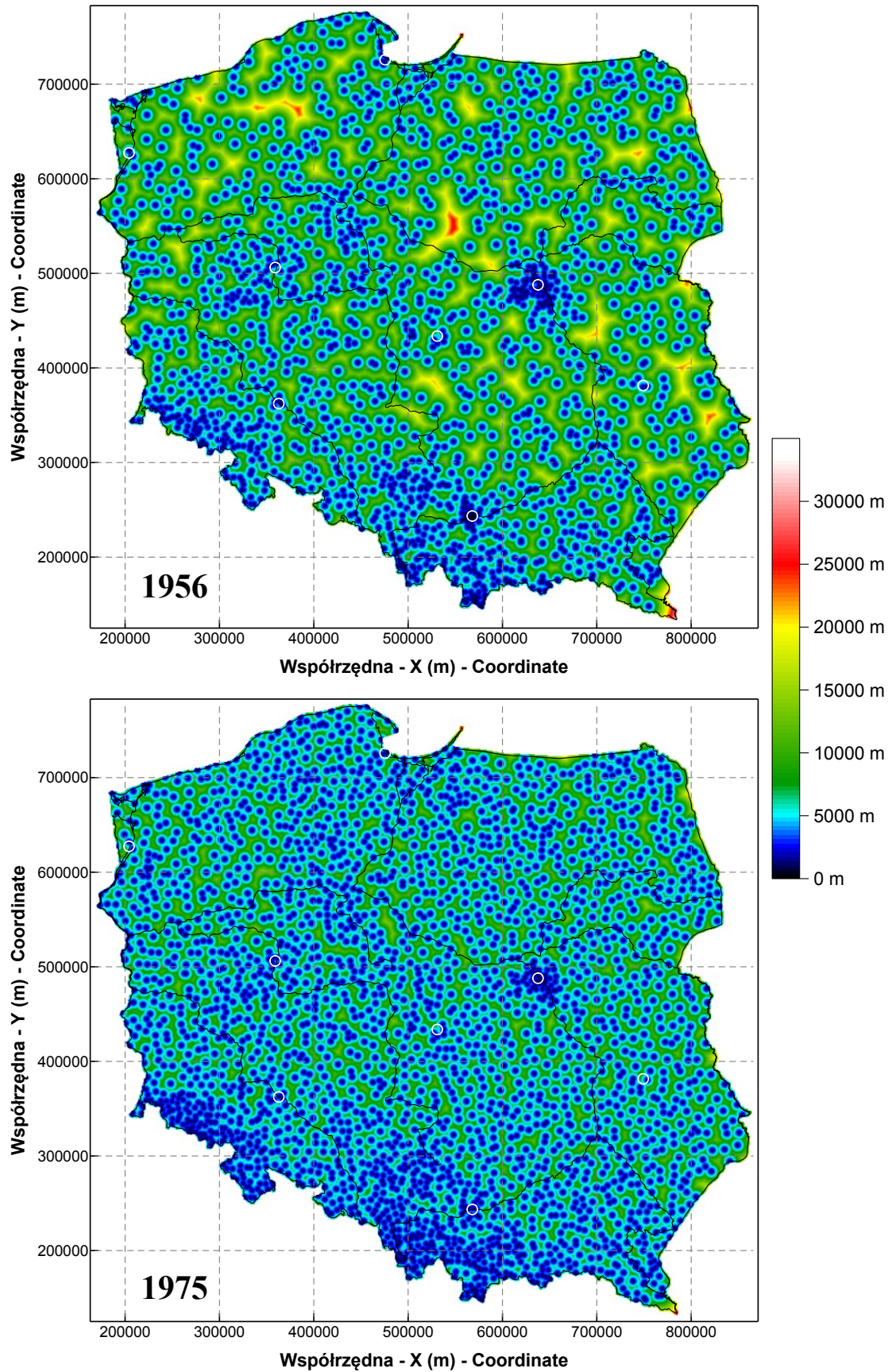
Najbardziej widoczna różnica pomiędzy porównywanymi terminami dotyczy równomierności pokrycia posterunkami pomiarowymi terytorium kraju. Najlepiej zmianę tę ilustrują histogramy (ryc. 26 i 27). W roku 1956 kontrasty były bardzo duże. Wyrażają się one w rozrzucie wartości ekstremalnych obu analizowanych parametrów, ich odchyleniu standardowym, skośności i kurtozie. Zróżnicowanie w roku 1956 mieści się w przedziale od węzła (o współrzędnych $X = 571\ 000$ m, $Y = 220\ 000$ m), leżącego 20 km na południe od centrum Krakowa i otoczonego w lutym 1956 roku przez 106 punktów pomiarowych, do 126 węzłów na krańcu Bieszczadów z jedynie jednym posterunkiem opadowym w promieniu 35 km. W roku 1975 amplituda wyraźnie zmalała i wynosiła 3-95. Zmieniła się także lokalizacja maksymalnej wartości – stało się nią otoczenie węzła ($X = 516\ 000$ m, $Y = 210\ 000$ m) usytuowanego w zachodniej części Beskidu Małego³³. Minimalna gęstość stanowisk – trzy – dotyczyła w roku 1975 tylko 17 węzłów siatki, z czego zaledwie dwa były położone w granicach Polski. W 1956 roku średnio w obrębie 35 km sąsiedztwa było około 20 posterunków, w 1975 – 30. Przesunięciu uległ zakres międzykwartylowy: w roku 1956 połowa zmienności zawierała się w przedziale 12-22, w 1975 – od 23-33. W ciągu 20 lat znacząco zmalało odchylenie standardowe, a skośność i kurtoza rozkładu przestrzennego punktów pomiarowych zbliżyły się do charakterystycznych dla rozkładu normalnego. Wraz z ogólnym wzrostem liczby stanowisk w latach 1956-1975 spadła wyraźnie odległość między węzłem siatki interpolacyjnej, a najbliższym stanowiskiem pomiarowym; średnia zmalała z blisko 7,0 km do 4,9 km. Radykalnie zmniejszyła się maksymalna odległość (z 34,6 do 26,6 km) i odchylenie standardowe (z ponad 3,5 km do 2,3 km). Efektem mniejszego zróżnicowania było wyraźne zwiększenie kurt ozy rozkładu odległości dla danych z roku 1975.

Zamieszczone poniżej mapy (ryc. 28-31) pozwalają precyzyjnie wskazać obszary o niskich i wysokich wartościach porównywanych cech, a przekonującą ilustracją zmian, jakie w 25-leciu 1956-1980 dokonały się w organizacji przestrzennej sieci pomiarów opadów atmosferycznych są mapy różnic (ryc. 32). Oprócz zasadniczych zmian w zagęszczeniu stacji, najbardziej widoczną cechą odróżniającą rok 1956 od 1975 są duże odmienności w obrazie „miesięcznym” i „rocznym”. W roku 1956 trwała najszybsza w całym analizowanym 25-leciu rozbudowa sieci; rok 1975 był pod tym względem raczej stabilny. Obrazów z sierpnia 1975 i całorocznego nie sposób gołym okiem odróżnić.

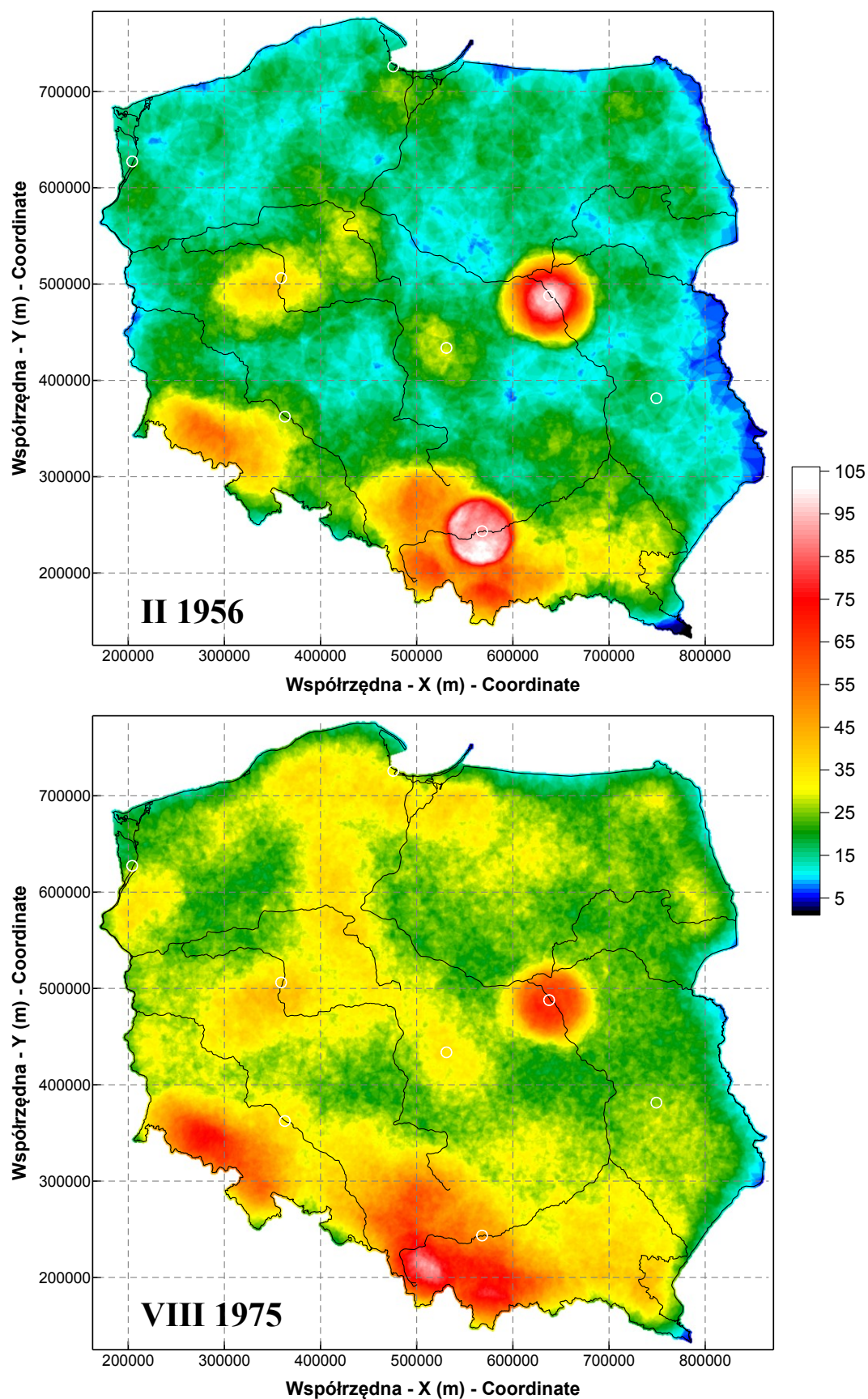
³³ Stosowane w niniejszej pracy nazewnictwo i podział regionalny Polski jest oparte na publikacjach: Kondracki (2000) oraz Kondracki i Richling (1994).



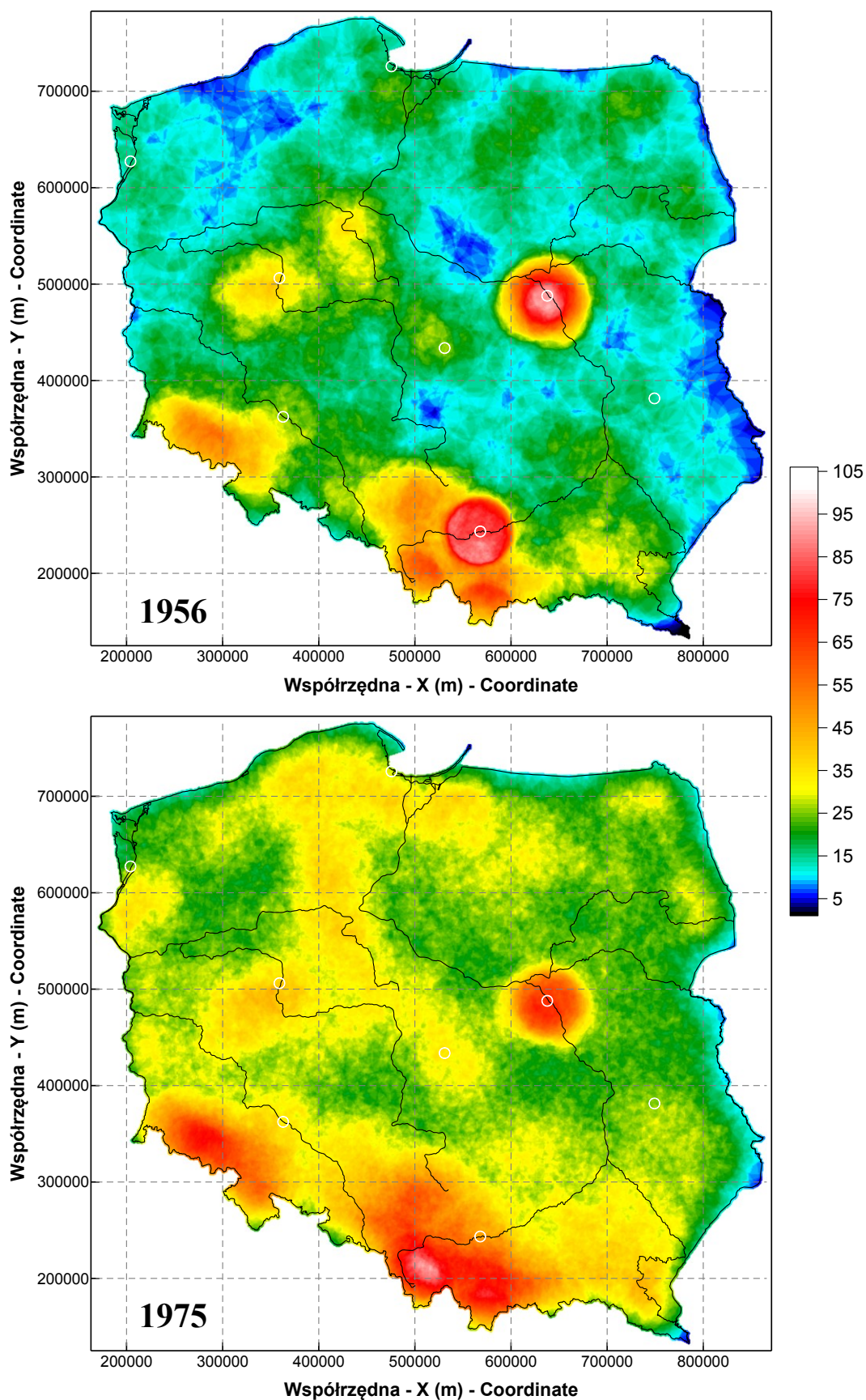
Ryc. 28. Odległość węzła siatki interpolacyjnej (1×1 km) od najbliższego stanowiska pomiarowego w miesiącu z najmniejszą (II-56: 1890) i największą ich liczbą (VIII-75: 2707).



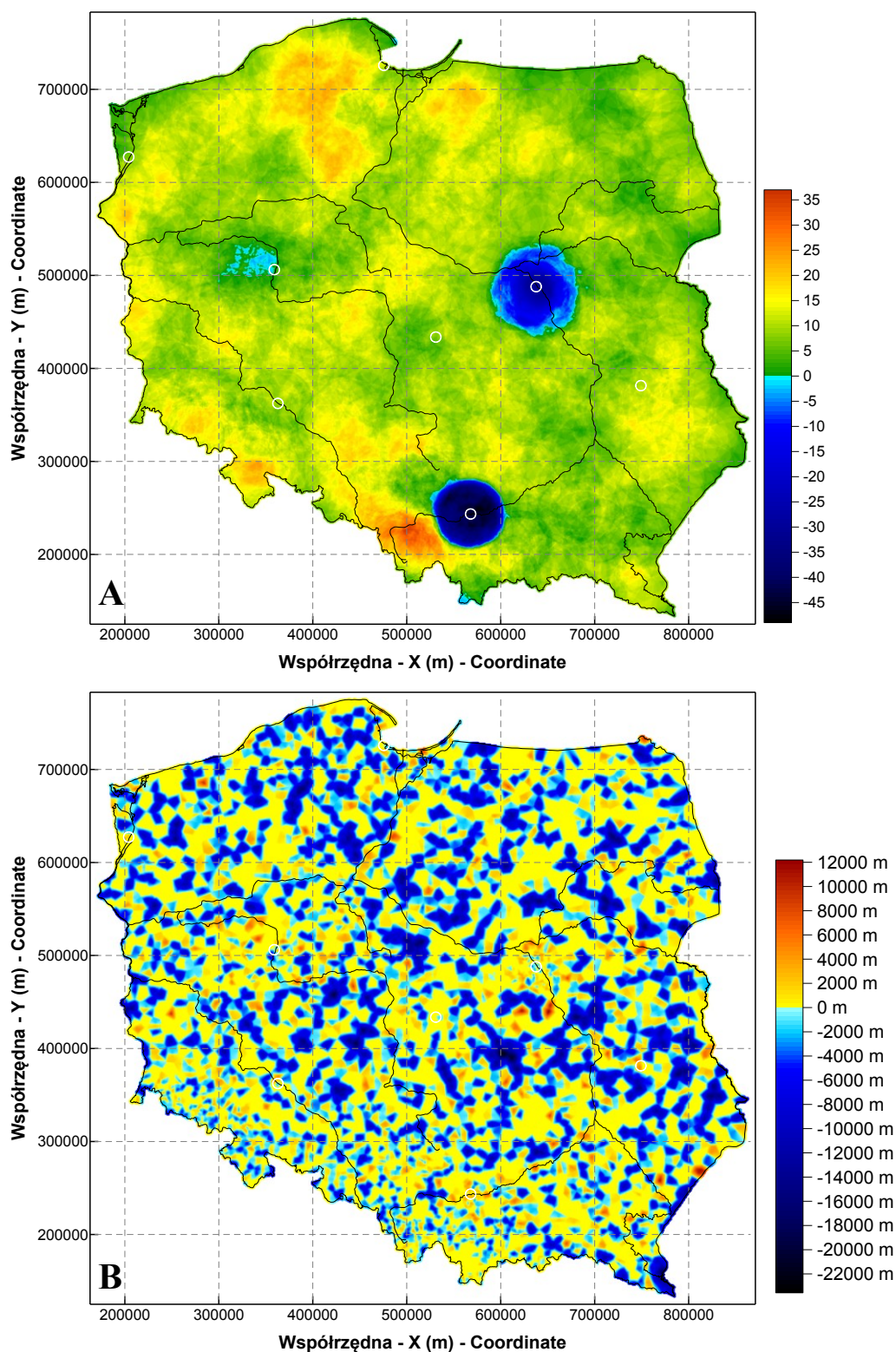
Ryc. 29. Odległość węzła siatki interpolacyjnej (1×1 km) od najbliższego stanowiska pomiarowego w roku z najmniejszą (1956: 1768) i największą ich liczbą (1975: 2698).



Ryc. 30. Liczba stanowisk pomiarowych w promieniu 35 km od każdego węzła siatki interpolacyjnej (1×1 km) w miesiącu z najmniejszym (II-1956: 1890) i największym ich zagęszczeniem (VIII-1975: 2707).



Ryc. 31. Liczba stanowisk pomiarowych w promieniu 35 km od każdego węzła siatki interpolacyjnej (1×1 km) w roku z najmniejszym (1956: 1768) i największym ich zagęszczeniem (1975: 2698).



Ryc. 32. Różnica liczby punktów danych w promieniu 35 km od węzła siatki interpolacyjnej 1×1 km pomiędzy sierpniem roku 1975 (maksymalna liczba stanowisk pomiaru opadów w wieloleciu 1956-1980) a lutym 1956 (minimalna liczba stanowisk) – A. Różnica odległości węzła siatki interpolacyjnej 1×1 km do najbliższego punktu danych pomiędzy sierpniem roku 1975 a lutym 1956 – B.

Mapy „odległości” dają kartograficzny obraz właściwości zidentyfikowanej za pomocą syntetycznych wskaźników i histogramów. W roku 1956 widoczne jest duże zróżnicowanie tej cechy, szczególnie w północnej, centralnej i wschodniej części kraju. Ekstremalnie duże odległości od węzłów siatki interpolacyjnej (> 20 km) występują nie tylko w strefach przygranicznych na wschodzie i północy, ale także na kilku powierzchniach w centrum kraju, na Wyżynie Lubelskiej i Pojezierzu Pomorskim. Sieć pluwiometryczna istniejąca w roku 1975 była bardziej jednorodna. Najbardziej wyróżniają się obszary niskich „odległości” w Sudetach i Karpatach Zachodnich oraz skupienie warszawskie.

Bardziej kontrastowy obraz dają mapy liczby stanowisk pomiarowych wokół węzłów siatki interpolacyjnej. Charakterystycznymi elementami rozmieszczenia punktów pomiarów opadów atmosferycznych w roku 1956 były, wspomniane już uprzednio, sieci miejskie w Warszawie i Krakowie, a także duże zagęszczenia (powyżej 40 punktów w promieniu 35 km) w obrębie Sudetów i Niziny Śląskiej oraz Górnego Śląska, części Jury Krakowsko-Częstochowskiej i Zachodnich Karpat. Wspomniane wyżej skupienia „górsko-wyżynne” były rozdzielone w 1956 roku obszarem o stosunkowo małej gęstości stacji usytuowanym na zachód od górnej Odry. Niższe, ale jednak znacznie przekraczające średnią (powyżej 30 punktów) zagęszczenia istniały wówczas także centralnej Wielkopolsce, na Kujawach, w okolicach Łodzi i na przedgórzu wschodniokarpackim. Najbardziej zwarty i rozległy obszar skrajnie niskiego skupienia stanowisk pluwiometrycznych (< 10 w promieniu 35 km) występował wzdłuż granicy wschodniej kraju, na odcinku rzeki Bug. Obszary o podobnych wartościach analizowanej cechy układały się wąskim i nieco porozrywanym pasem także dalej na północ, wzdłuż wschodniej granicy, a także odcinka granicy z Obwodem Kaliningradzkim. Poza tym, w roku 1956 istniało szereg niewielkich „depresji” powierzchni gęstości rozrzuconych głównie brzegu morskiego i zachodniej granicy. Największą z nich jednak stanowił południowo-wschodni kraniec Polski. Obraz zagęszczenia danych rocznych w 1956 miał kilka charakterystycznych cech własnych, nie zaznaczających się wyraźnie na mapie z lutego. Były nimi duże rozproszenie stanowisk pomiaru opadów na północ od środkowej Wisły, nad górną Wartą (Wysoczyzna Bełchatowska) oraz w centralnej i północnej części Pojezierza Pomorskiego (Równina Białogardzka, Pojezierze Bytowskie i Drawskie).

W roku 1975 nie było już tak silnych kontrastów w zagęszczeniu stacji. Wyżynno-górski obszar dużego skupienia stanowisk pomiarowych był bardziej jednolity, choć w dalszym ciągu zaznaczały się poprzednio istniejące maksima. Nowością było pojawienie się elewacji gęstości (> 80) na obszarze na wschód od górnej Wisły (Beskid Mały, Kotlina Żywiecka,

Pogórze Śląskie) oraz na pograniczu między Gorcami i Beskidem Żywieckim. Na Niżu w dalszym ciągu dodatnią anomalię stanowi aglomeracja warszawska, ale maksymalne gęstości nie przekraczały tu już wartości 70. Poza tym na większości obszaru niżowego w obrębie 35 km sąsiedztwa występuje 15-35 stanowisk pomiarowych. Strefy nieco większego zagęszczenia (około 40) były zlokalizowane w centralnej i południowo-zachodniej Wielkopolsce, Kujawach, Pojezierzu Krajeńskim, Pojezierzu Kaszubskim, Wysoczyźnie Polanowskiej, Pojezierzu Bytowskim oraz na wschód od Wisły w obrębie Żuław, Wysoczyzny Elbląskiej i Równiny Warmińskiej. Najbardziej rozproszona sieć pomiarowa, jak poprzednio, była w Bieszczadach oraz wzdłuż wschodniej i północnej granicy kraju.

Największe spadki zagęszczenia stacji nastąpiły w obrębie i w otoczeniu aglomeracji krakowskiej oraz warszawskiej, jako efekt zlikwidowania specjalnych miejskich sieci pluwiometrycznych (ryc. 32A). Niewielka redukcja nastąpiła również na obszarze na północny-zachód od Poznania i w Tatrach Zachodnich. Na pozostałej części kraju gęstość sieci pomiarowej wzrosła. Największy przyrost nastąpił na terenach wyżynnych, pogórskich i górskich, na południowy-zachód od Krakowa (Płaskowyż Rybnicki, kotliny: Oświęcimska i Ostrawska, Pogórze Zachodniobeskidzkie, Beskid Mały). W południowej części kraju wzrost większy od przeciętnego miał miejsce również w Kotlinie Kłodzkiej, Górach Bardzkich i Żłotyńskich oraz w Kotlinie Jeleniogórskiej i Górach Kaczawskich. Duży zwarty obszar, na którym nastąpiło znaczące zwiększenie gęstości sieci stanowiły: północno-wschodnia część Pojezierza Pomorskiego, szczególnie zaś Wysoczyzna Damnicka i Polanowska, Pojezierze Kaszubskie, Pojezierze Bytowskie, Równina Charzykowska, Dolna Brdy i Wysoczyzna Świecka. Znaczące przyrosty wystąpiły również na wschód od Wisły, a w szczególności w obrębie Pojezierza Iławskiego i Równiny Warmińskiej. Mniejsze obszary dużego wzrostu zagęszczenia stacji pomiarowych zanotowano w zachodniej części Równiny Gorzowskiej i Pojezierza Myśliborskiego, w obrębie Wzniesień Gubińskich i Równiny Opolskiej.

Zmiany odległości węzłów siatki interpolacyjnej do najbliższego stanowiska pomiarowego wykazują rozkład mozaikowy (ryc. 32B). W obrazie całego kraju najbardziej zwraca uwagę różnica pomiędzy południowo-zachodnią jego częścią a jego resztą. Na południowym zachodzie dominują raczej przyrosty odległości, a mozaika przeplatających się obszarów wzrostów i spadków jest bardzo „drobna”. Stanowi to efekt wysokiej już w latach pięćdziesiątych gęstości sieci na obszarach wyżynnych i górskich, która w kolejnych dziesięcioleciach była przede wszystkim optymalizowana pod kątem równomierności pokrycia. W obrębie pozostałej części kraju najbardziej znaczące są stosunkowo zwarte

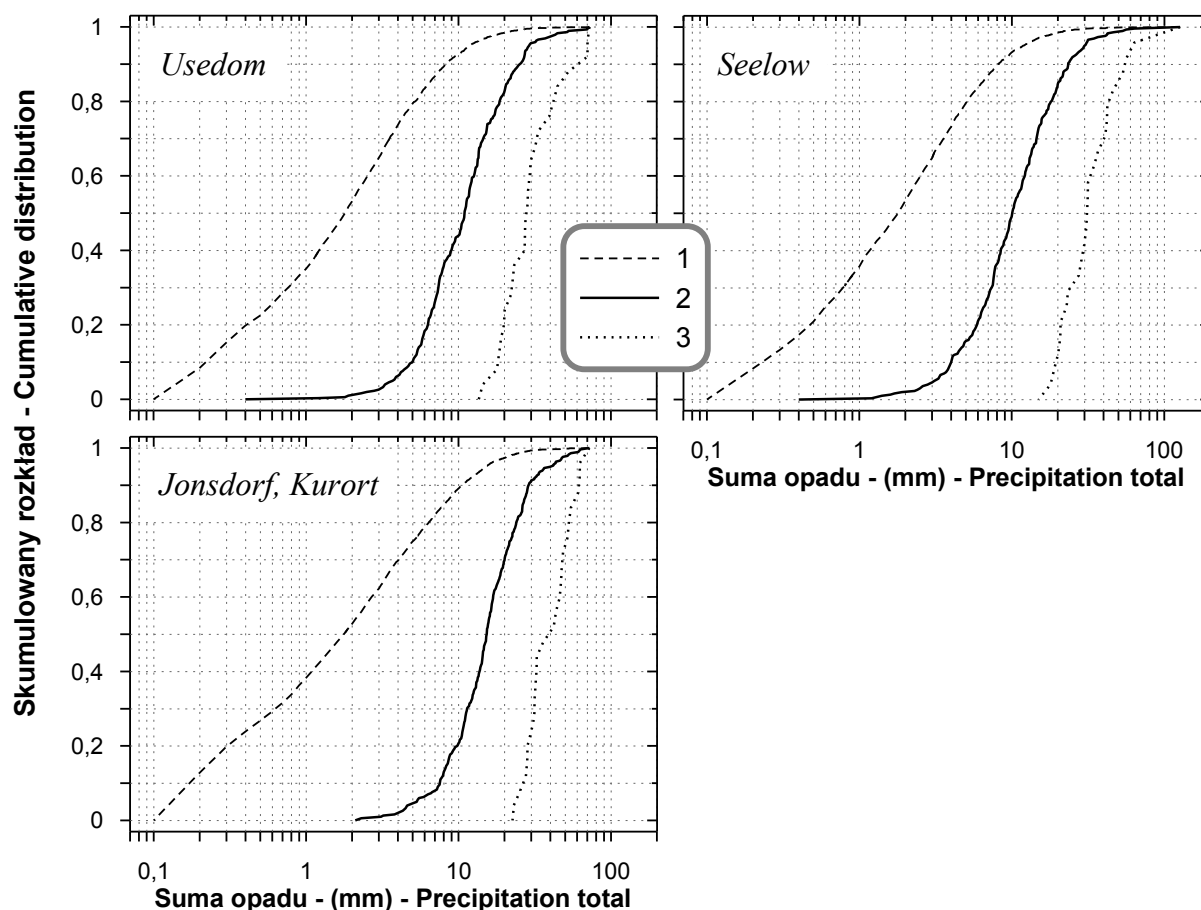
obszary przyrostów odległości na zachód od Poznania i w obrębie aglomeracji warszawskiej. Spadki dominują na obszarze na wschód i zachód od Dolnej Wisły, na południe od Warszawy, na Polesiu i Wyżynie Lubelskiej.

V.5. Maksymalne sumy dobowe opadów a źródłowe serie pomiarowe. Teoretyczne dystrybuanty danych

Analizowane roczne i miesięczne MSDO stanowią podzbiory baz danych zawierających wszystkie zarejestrowane w poszczególnych stanowiskach pomiarowych sumy dobowe opadów. Relacje, jakie między nimi zachodzą przedstawiono na trzech przykładach zamieszczonych na rycinie 33. Kompletną dwudziestopięcioletnią serią sum dobowych opadów dla analizowanego wielolecia dysponowano jedynie dla kilkunastu stanowisk zlokalizowanych w przygranicznej strefie na terenie byłego NRD (patrz załącznik XII.1). Wybrano z nich trzy, które ukazują zróżnicowanie w układzie południkowym: stacja Usedom na wyspie Uznam na południowy zachód od Świnoujścia ($H_s = 2$ m n.p.m.), Seelow przy ujściu Warty do Odry ($H_s = 55$ m n.p.m.) i Jonsdorf Kurort przy zbiegu trzech granic w okolicach Bogatyni ($H_s = 460$ m n.p.m.). Konsekwentne zmiany w tym układzie wykazuje tylko jeden parametr statystyczny sum dobowych opadów – ich odchylenie standardowe (odpowiednio: 4,95, 5,16 i 5,87 mm). Inne parametry swoje minimum albo maksimum mają w danych z Seelow: najniższą częstość dni z opadem (42,0 % wobec 46,0% w Usedom i 57,8% w Jonsdorf), najniższą średnią sumą dobową (3,3, 3,4 i 3,8 mm), najwyższą skośność (6,72, 4,60 i 3,50), kurtozę (104,3, 38,1 i 19,8) i najwyższe maksimum (126,8, 72,4 i 72,1 mm). Biorąc pod uwagę częstość dni z opadem, miesięczne MSDO stanowią od 5,69 (Jonsdorf) do 7,83% (Seelow) całego zbioru sum dobowych. Ten sam parametr w odniesieniu do rocznych MSDO waha się od 0,47 do 0,65%.

Selekcja wykorzystywanych w niniejszej pracy danych miesięcznych MSDO wyeliminowała całkowicie wartości poniżej 0,4 mm (Usedom, Seelow) i 2,0 mm (Jonsdorf). Stanowiły one 17,3% (Seelow), 19,8% (Usedom) i 51,7% (Jonsdorf) całego zbioru sum dobowych (ryc. 33). Minimalne wartości rocznych MSDO w analizowanym wieloleciu wynosiły w Usedom 13,6 mm, w Seelow 15,0 mm, a w Jonsdorf Kurort 22,6 mm. Oznacza to, że z całego zbioru dobowych sum opadów „odrzucone” zostało odpowiednio 96,3%, 96,9 i 98,1% wartości niższych. Istotne różnice pojawiły się również w charakterze rozkładów statystycznych dwóch pochodnych zbiorów danych. Najlepsze dopasowanie dystrybuanty

całego zbioru sum dobowych stanowiły bowiem bądź rozkład Weibulla (Usedom, Jonsdorf Kurort), bądź gamma (Seelow)³⁴. Po wyselekcjonowaniu maksymalnych miesięcznych i rocznych sum dobowych ich rozkład na wszystkich stanowiskach jest logarytmiczno-normalny.

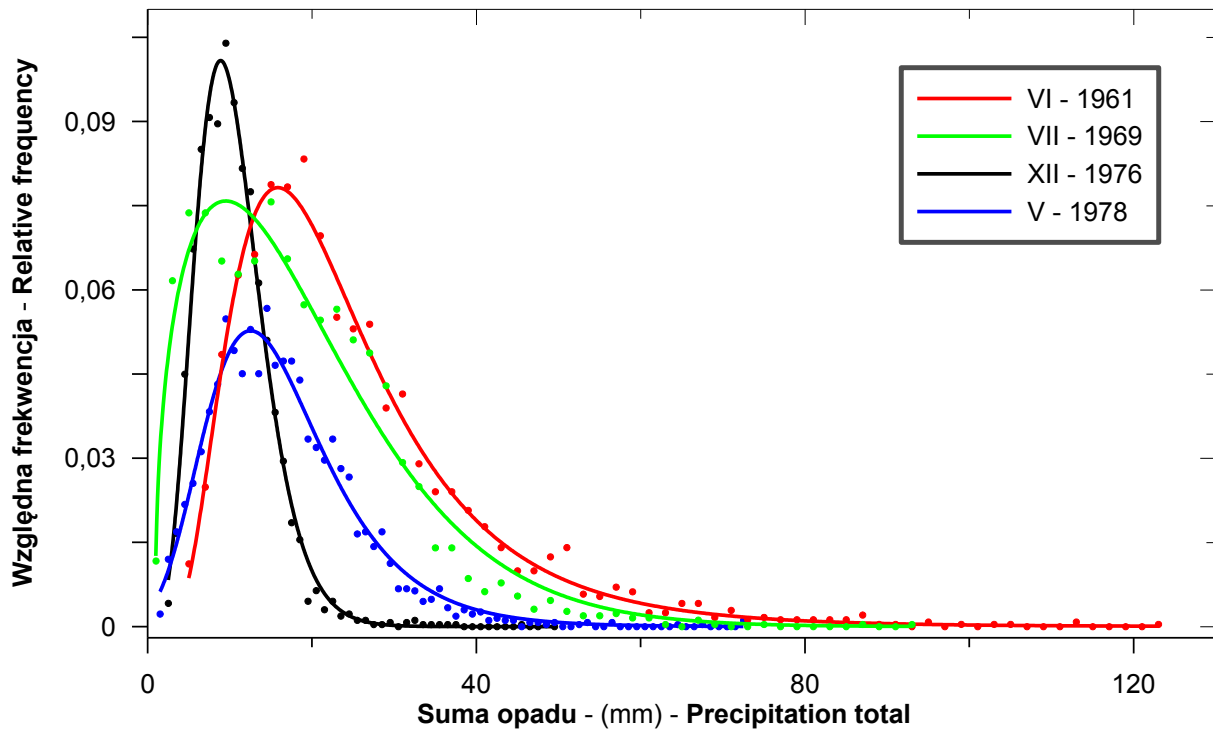


Ryc. 33. Porównanie dystrybuant empirycznych wszystkich sum dobowych opadów z 25 lecia 1956-1980 (1) z rozkładami miesięcznych (2) i rocznych (3) MSDO dla trzech stanowisk zlokalizowanych w strefie przygranicznej na obszarze Niemiec (patrz załącznik XII.1).

Dopasowywanie rozkładów empirycznych danych MSDO do najczęściej stosowanych w klimatologii dystrybuant teoretycznych (Pruchnicki 1987) wykazało, że większość analizowanych zbiorów najlepiej opisuje funkcja logarytmiczno-normalna (ryc. 34). Aż 60% przypadków danych miesięcznych i 68% – rocznych było bowiem zgodnych z tą funkcją. Dla

³⁴ Panorska i in. (2007) stwierdzają, na podstawie szczegółowej analizy setek serii dobowych sum opadów z obszaru Ameryki Północnej z okresu ostatnich pięćdziesięciu lat, że w większości przypadków prawdopodobieństwa ekstremalnych sum opadów nie maleją w sposób wykładniczy, ale raczej potęgowy. Oznacza to, że rozkłady statystyczne tradycyjnie używane do ich modelowania (to jest wykładniczy, Weibulla, gamma, logarytmiczno-normalny) generalnie niedoszacowują prawdopodobieństwo ekstremów. Stopień tego odchylenia wykazuje zmienność regionalną i sezonową.

66 miesięcy (22%) i 8 lat (32%) najlepszy okazał się rozkład wartości ekstremalnych (funkcja Gumbela I). Poza tym, w odniesieniu do miesięcznych danych MSDO wykorzystywano jeszcze rozkład gamma (14%), Weibula (3%) i wykładniczy (0,3%). Punktowe serie czasowe maksymalnych sum dobowych opadów podlegają, według Pruchnickiego (1987) właśnie logarytmiczno-normalnym regułom rozkładu frekwencji. Dominacja tego porządku w ujęciu przestrzennym nie może zatem stanowić zaskoczenia.

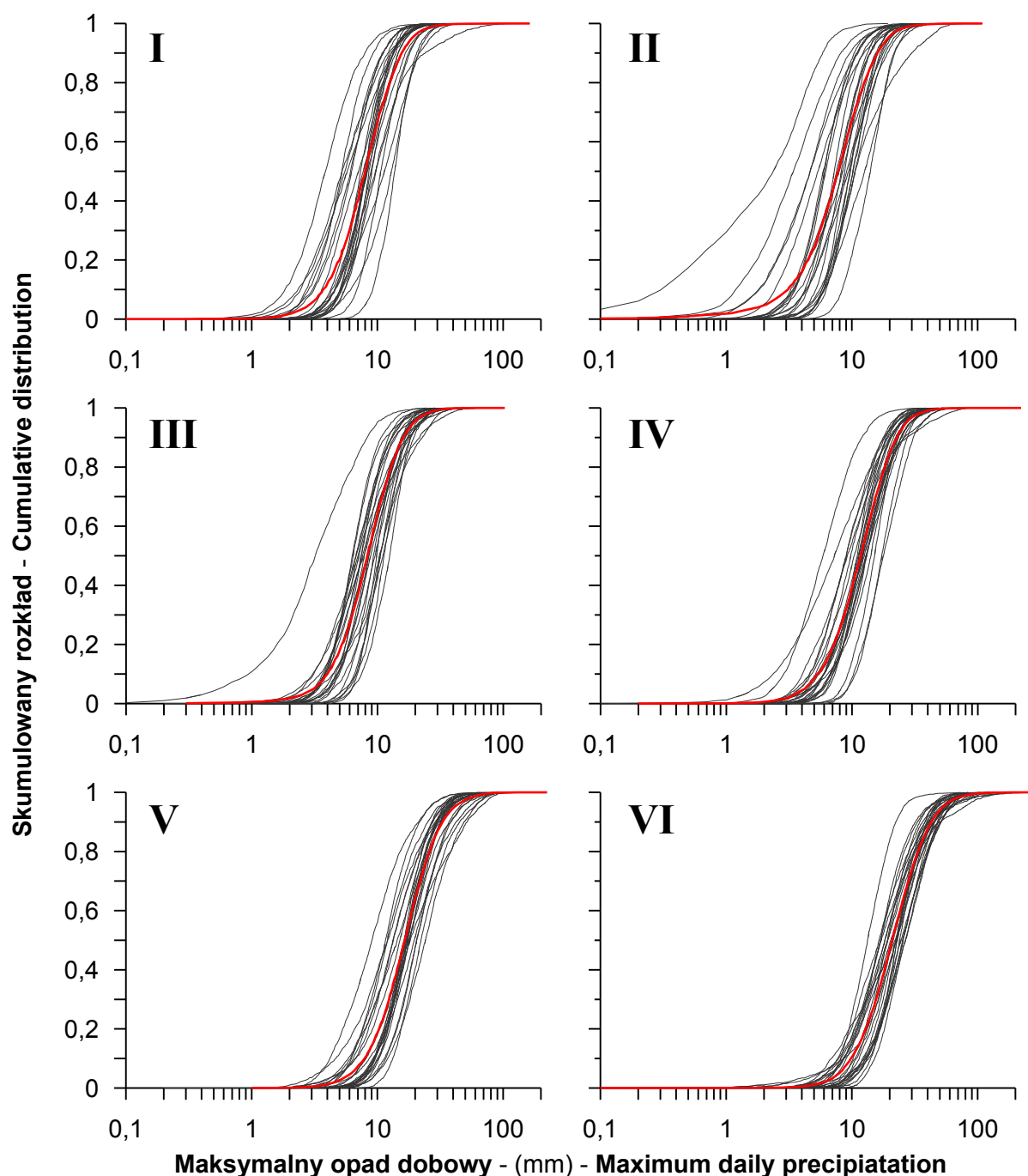


Ryc. 34. Przykłady czterech typów rozkładów statystycznych charakteryzujących zbiory danych MSDO. Punkty przedstawiają wartości empiryczne, zaś linie – najlepiej dopasowane teoretyczne funkcje gęstości prawdopodobieństwa: VI 1961 – logarytmiczno-normalny, VII 1969 – Weibulla, XII 1976 – gamma, V1978 – wartości ekstremalnych (Gumbela I).

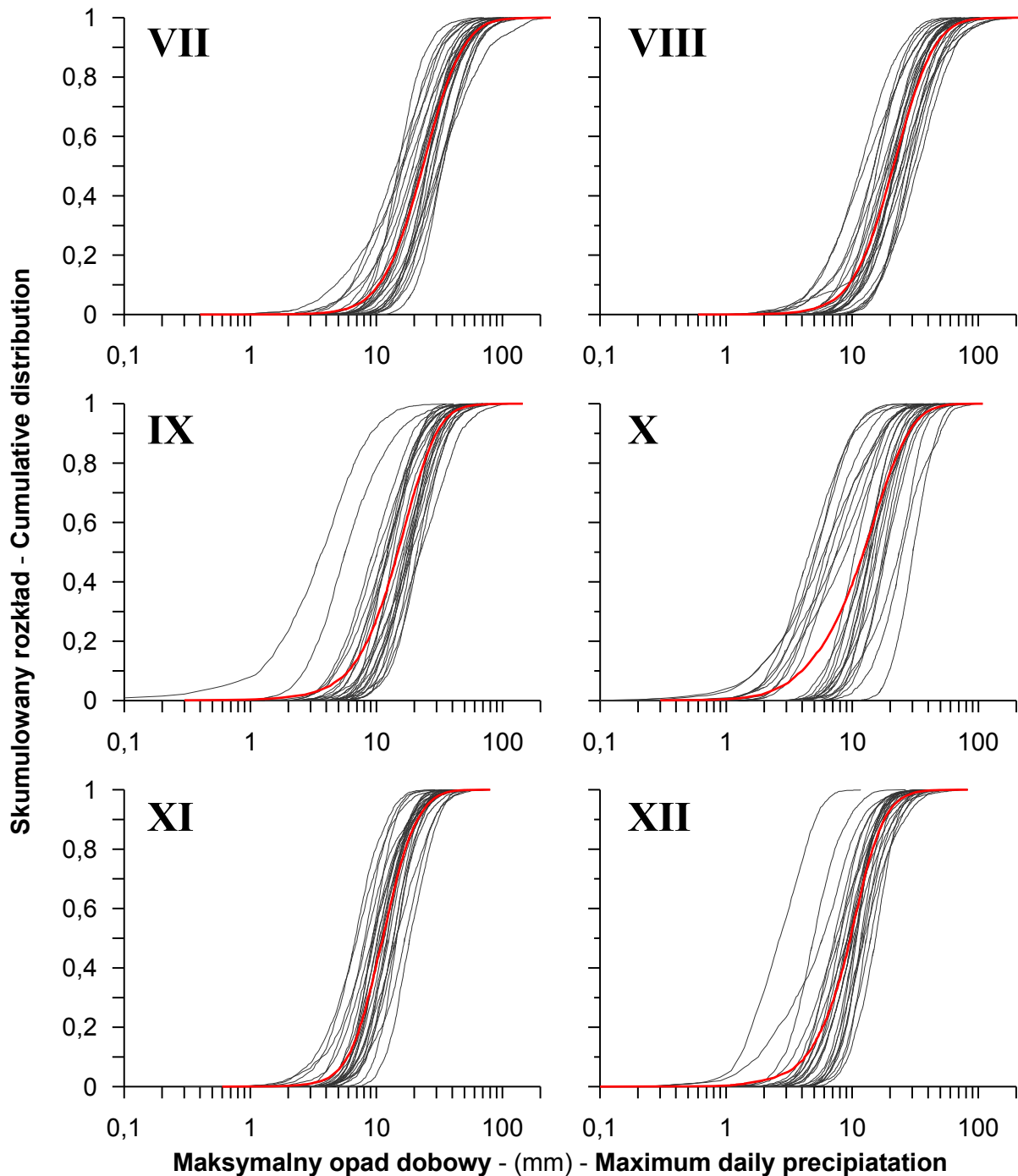
V.6. Charakterystyka danych źródłowych za pomocą globalnych statystyk opisowych

Do opisu zbioru danych MSDO wykorzystano zarówno statystyki globalne (globalne, nieprzestrzenne), jak i statystyki najbliższego sąsiada (lokalne, przestrzenne, podrozdział V.7). Drugie z wymienionych dotyczą zbioru różnic między zmierzoną w danym punkcie pomiarowym wartością MSDO a MSDO zarejestrowaną w najbliższej leżącym innym stanowisku. Dają one zatem pogląd na temat zmienności lokalnej analizowanej cechy. Statystyki lokalne są istotne z wielu względów. Między innymi Stach i Tamulewicz (2005b,

2005c) stwierdzili, że to głównie one wpływają na jakość estymacji pola sum miesięcznych i rocznych opadów. Trzeba też wyraźnie podkreślić, że między wartościami statystyk należących do obu grup nie ma znaczących zależności. Oznacza to, że znajomość statystyk globalnych danego zbioru danych przestrzennych nie daje podstaw do wnioskowania o jego zmienności lokalnej i na odwrót.



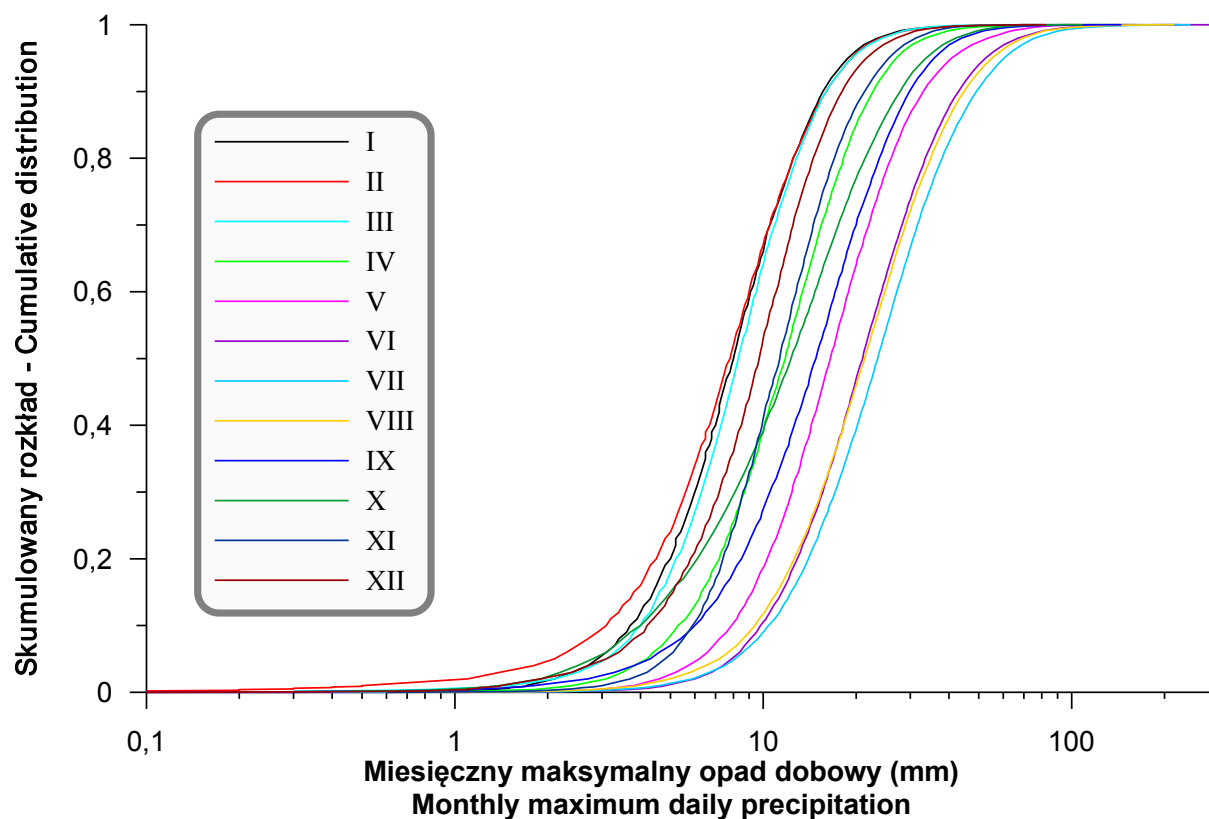
Ryc. 35. Dystrybuanty empiryczne MSDO dla poszczególnych miesięcy wielolecia 1956-1980: od stycznia do czerwca. Grubą czerwoną linią zaznaczono średnie rozkłady dla całego zbioru danych.



Ryc. 36. Dystrybuanty empiryczne MSDO dla poszczególnych miesięcy wielolecia 1956-1980: od lipca do grudnia. Grubą czerwoną linią zaznaczono średnie rozkłady dla całego zbioru danych.

Pełne zestawienie statystyk opisowych analizowanych zbiorów miesięcznych i rocznych MSDO zamieszczono na dołączonym dysku DVD. Poniżej przedstawione zostaną – w formie tabelarycznej i graficznej – wybrane najważniejsze ich charakterystyki.

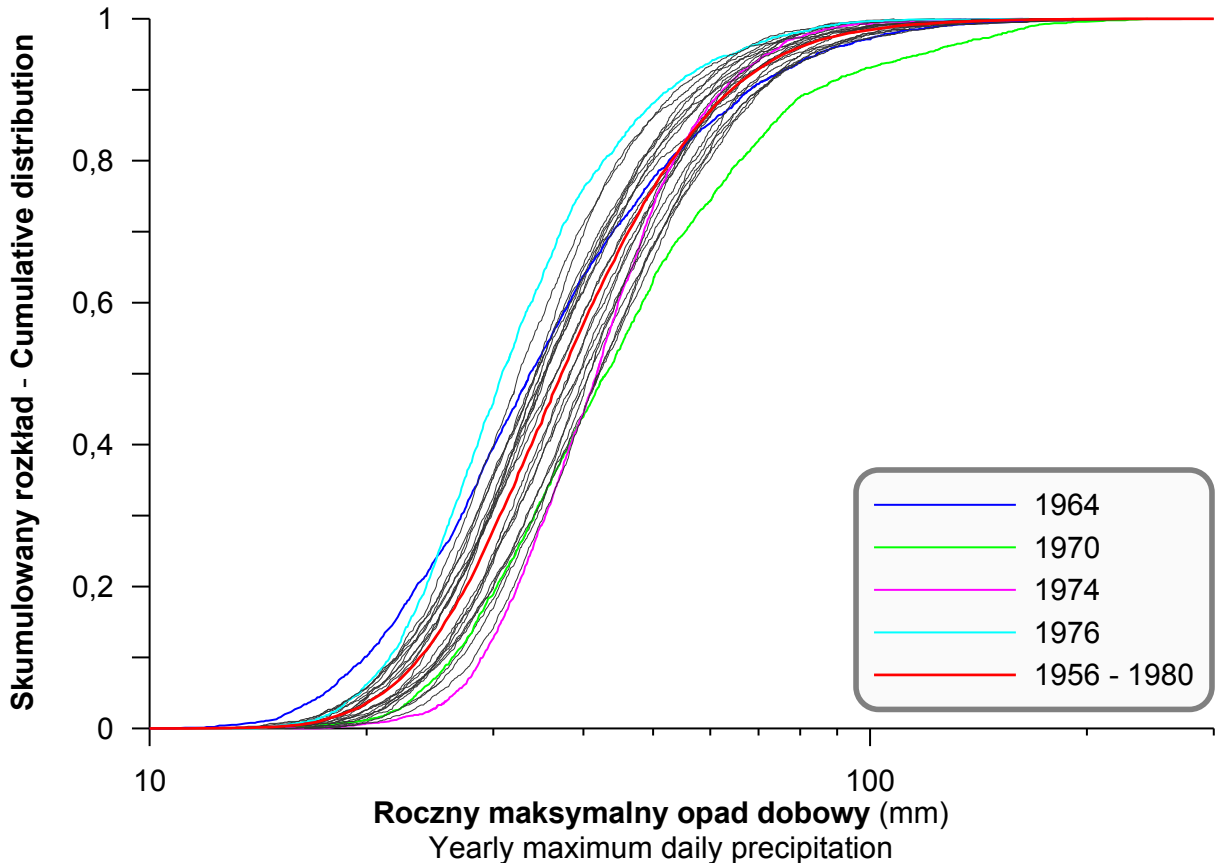
Wszystkie spośród 325 analizowanych zbiorów danych MSDO przedstawiono w postaci skumulowanych rozkładów na rycinach 35-38. Są tam również zamieszczone sumaryczne dystrybuanty dla poszczególnych miesięcy roku w całym wieloleciu i zbiorczy rozkład roczny. Ten sposób zestawienia umożliwia szerszą, niż za pomocą jedynie statystyk opisowych, charakterystykę danych.



Ryc. 37. Skumulowane średnie rozkłady MSDO dla poszczególnych miesięcy w wieloleciu 1956-1980.

Porównanie wykresów krzywych skumulowanego rozkładu miesięcznych MSDO pozwala łatwo wskazać miesiące o stabilnym i zróżnicowanym „reżimie” wysokich opadów. Świadczy o tym zwartość wiązki krzywych. Do takich względnie jednorodnych w analizowanym wieloleciu należały miesiące wiosenne od marca do czerwca, a wśród nich zwłaszcza czerwiec. Od głównej, bardzo wąskiej, wiązki krzywych odstają jedynie pojedyncze przypadki: marzec 1974, kwiecień 1974 i 1976, maj 1956 i czerwiec 1976. Są to wszystko miesiące posuszne, o bardzo niskich opadach. W marcu 1974 roku 95% zanotowanych maksymalnych opadów dobowych było na przykład mniejszych od 10 mm.

Drugą grupę stanowią miesiące, gdzie wiązki krzywych są szersze niż poprzednio, ale stosunkowo jednorodne. Należą do nich: lipiec, sierpień i listopad. Podobny charakter miała także zmienność MSDO we wrześniu, grudniu i styczniu, ale w wieloleciu notowano w grupie tych miesięcy po 2-3 anomalne, odstające znacznie od pozostałych, przypadki. Były to skrajnie suche miesiące: wrzesień 1959 i 1969, grudzień 1963, 1968 i 1972 oraz styczeń 1964.



Ryc. 38. Skumulowane rozkłady rocznych MSDO dla poszczególnych lat w wieloleciu 1956-1980. Kolorem wyróżniono rozkład średni (dla całego zbioru danych) i odbiegające znacząco od przeciętnej ekstremalne lata.

Najbardziej zróżnicowany charakter mają rozkłady MSDO w lutym i październiku. W tym ostatnim miesiącu widoczna jest wręcz wyraźna dwudzielność wiązki zwłaszcza dla dolnej połowy rozkładu. Grupa lat o niskich maksimach dobowych w październiku obejmuje: 1957, 1959, 1961, 1962, 1965, 1969, 1972, 1977, 1979. Jak widać z tego zestawienia, takie sytuacje w analizowanym 25-leciu powtarzały się dość systematycznie co 2-5 lat.

Skumulowane krzywe rozkładów miesięcznych dla całego wielolecia pokazują, oczywiście, wyraźną zmienność sezonową (ryc. 37). Wyraźnie rysują się dwie grupy miesięcy o skrajnie odmiennym reżimie wysokich opadów i „strefa” przejściowa. Z jednej strony są to

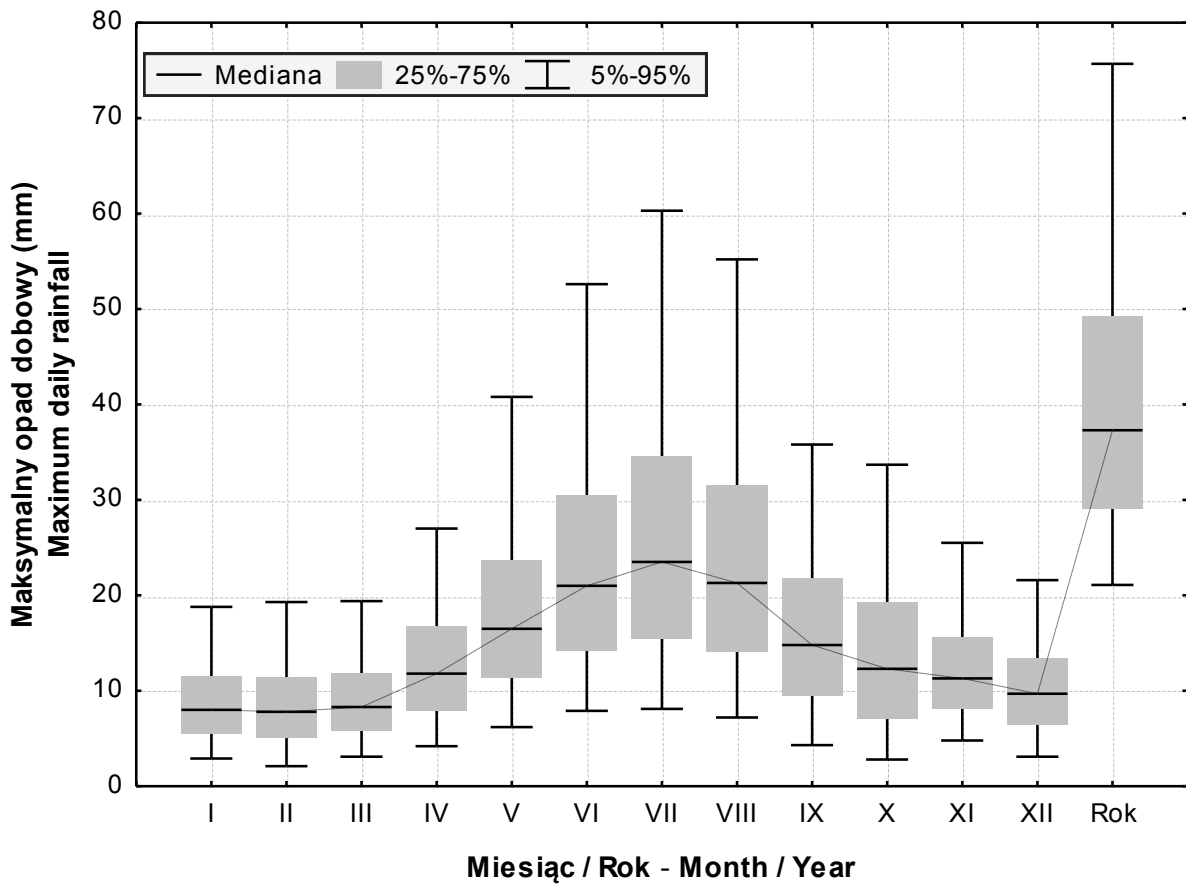
styczeń, luty i marzec, a z drugiej – czerwiec, lipiec i sierpień. Krzywe te nie są jednak idealnie równoległe względem siebie. Dla miesięcy zimowych charakterystyczna jest duża zbieżność częstości sum dobowych opadów wyższych od 10 mm, przy wyraźnie odmiennych dolnych fragmentach rozkładu. Najwyższą częstością bardzo niskich MSDO cechuje się luty: $\frac{1}{4}$ zanotowanych wartości była mniejsza od 5 mm. W wypadku miesięcy o najwyższych MSDO sytuacja jest odmienna. To raczej częstość występowania niskich maksymalnych sum dobowych jest zbliżona. Dla opadów powyżej 8-9 mm na dobę zaznacza się wyraźna „przewaga” ich frekwencji w lipcu. Czerwiec i sierpień są pod tym względem bardzo podobne. Uwagę zwraca również charakterystyczne skrzyżowanie wieloletnich krzywych kumulacyjnych dla poziomu około 0,35 (35%) i sum opadów ≤ 9 mm dla kwietnia, października i listopada. Jest to odbicie wspomnianej wyżej odmienności rozkładu MSDO w październiku, z wysoką powtarzalnością występowania lat z bardzo niskimi opadami w tym okresie.

Na rycinie 38 zawierającej skumulowane roczne wartości MSDO dla poszczególnych lat analizowanego wielolecia najbardziej charakterystyczne jest wystąpienie zwartej wiązki krzywych, reprezentującej lata „przeciętne” i odstające pojedyncze przypadki „ekstremalne”. W odróżnieniu jednak od podobnych wykresów wykonanych dla poszczególnych miesięcy, roczne krzywe „ekstremalne” obejmują tylko część całego zakresu zmienności – odstają od głównej wiązki w pewnym odcinku. Najbardziej typowe przykłady to rok 1964 z anomalnie wysoką frekwencją MSDO mniejszych niż 25 mm, rok 1974, kiedy wyjątkowo rzadko notowano sumy dobowe opadów niższe od 35 mm, czy rok 1970 z ekstremalnie wysoką częstością sum przekraczających 40 mm na dobę (tab. 5). W pozostałym zakresie wysokości MSDO lata te mieszczą się w granicach „przeciętności”. Jedynym przypadkiem, który narusza tę regułę jest rok 1976, z konsekwentnie minimalnymi frekwencjami w każdej klasie wysokości MSDO.

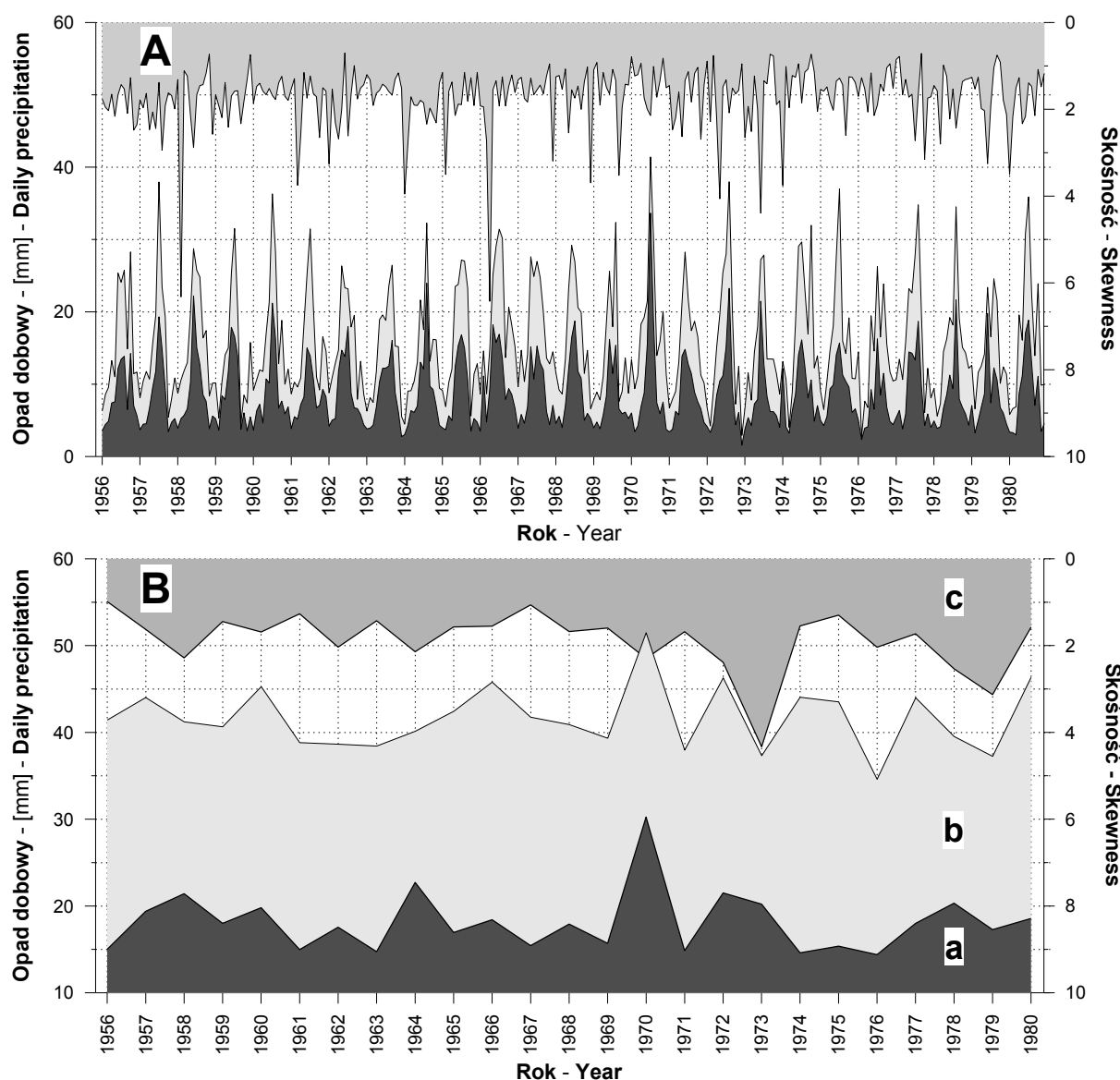
Najniższe roczne MSDO w wieloleciu 1956-80 zawierały się w przedziale od 10,0 (rok 1964) do 16,4 mm (rok 1980). Jest to zmienność stosunkowo niewielka wobec zróżnicowania najwyższych rocznych sum dobowych, które wynosiły od 108,1 mm w 1956 roku do 300,0 mm w roku 1973.

Miesięczne MSDO wykazują regularną i znaczącą cykliczność sezonową zarówno w ujęciu wieloletnim (ryc. 39, tab. 6), jak i przy porównywaniu kolejnych lat (ryc. 40). Dotyczy to głównie średniej (mediany, kwartyli) i odchylenia standardowego. Zmienność sezonową innych parametrów widać wyraźnie dopiero w ujęciu wieloletnim. Wartości miar centralnych

i rozrzutu są minimalne w miesiącach zimowych. Od kwietnia następuje wyraźny wzrost, a maksimum jest osiągnięte w lipcu. W kolejnych miesiącach do grudnia następuje konsekwentny spadek. Przebieg ten nie ma charakteru symetrycznej sinusoidy. Gradient wzrostu wiosennego jest mniejszy niż spadku letnio-jesiennego. Przebieg krzywej absolutnych maksimumów w poszczególnych miesiącach jest nieco odmienny. Najniższe wartości zanotowano w listopadzie i grudniu (poniżej 100 mm na dobę). Zimą, a szczególnie w styczniu najwyższe MSDO przekraczały nieco 100 mm. W kolejnych miesiącach, od kwietnia do sierpnia, notowano opady przekraczające 200 mm, z maksimum w czerwcu wynoszącym 300 mm. Od września do listopada wieloletnie maksima miesięczne spadają od poziomu około 150 mm na dobę do około 80 mm.



Ryc. 39. Mediana, przedział międzykwartylowy oraz przedział 90% miesięcznych i rocznych MSDO w wieloleciu 1956-1980.

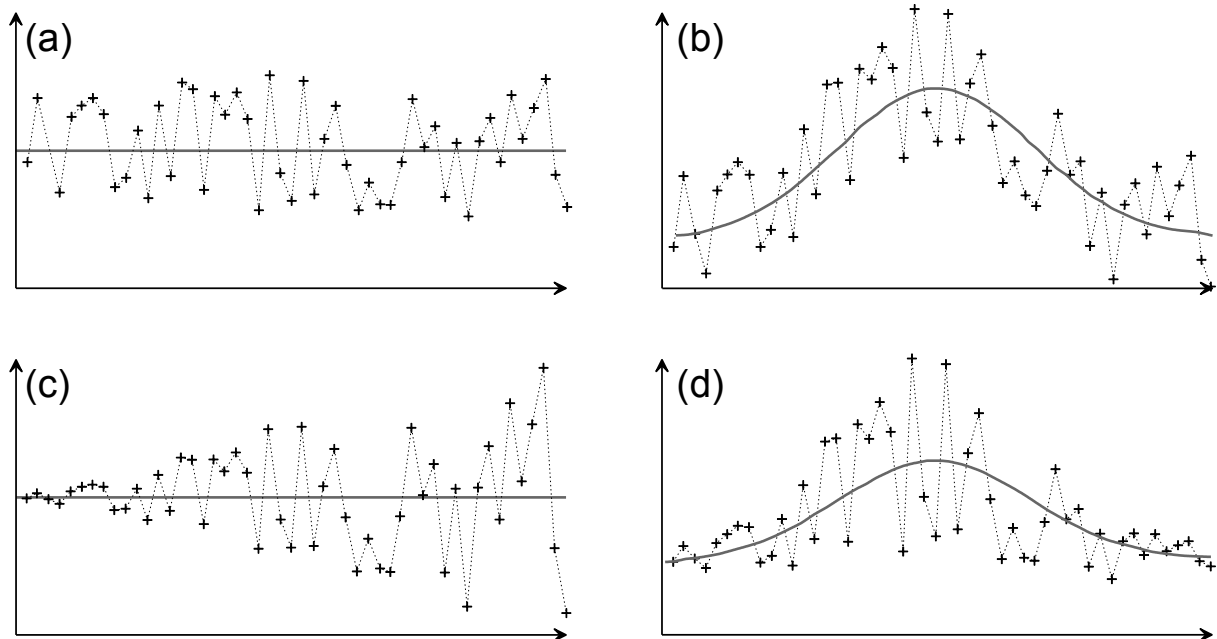


Ryc. 40. Wartości średnie (b), odchylenie standardowe (a) i skośność (c) MSDO w kolejnych miesiącach (A) i latach (B) wielolecia 1956-1980.

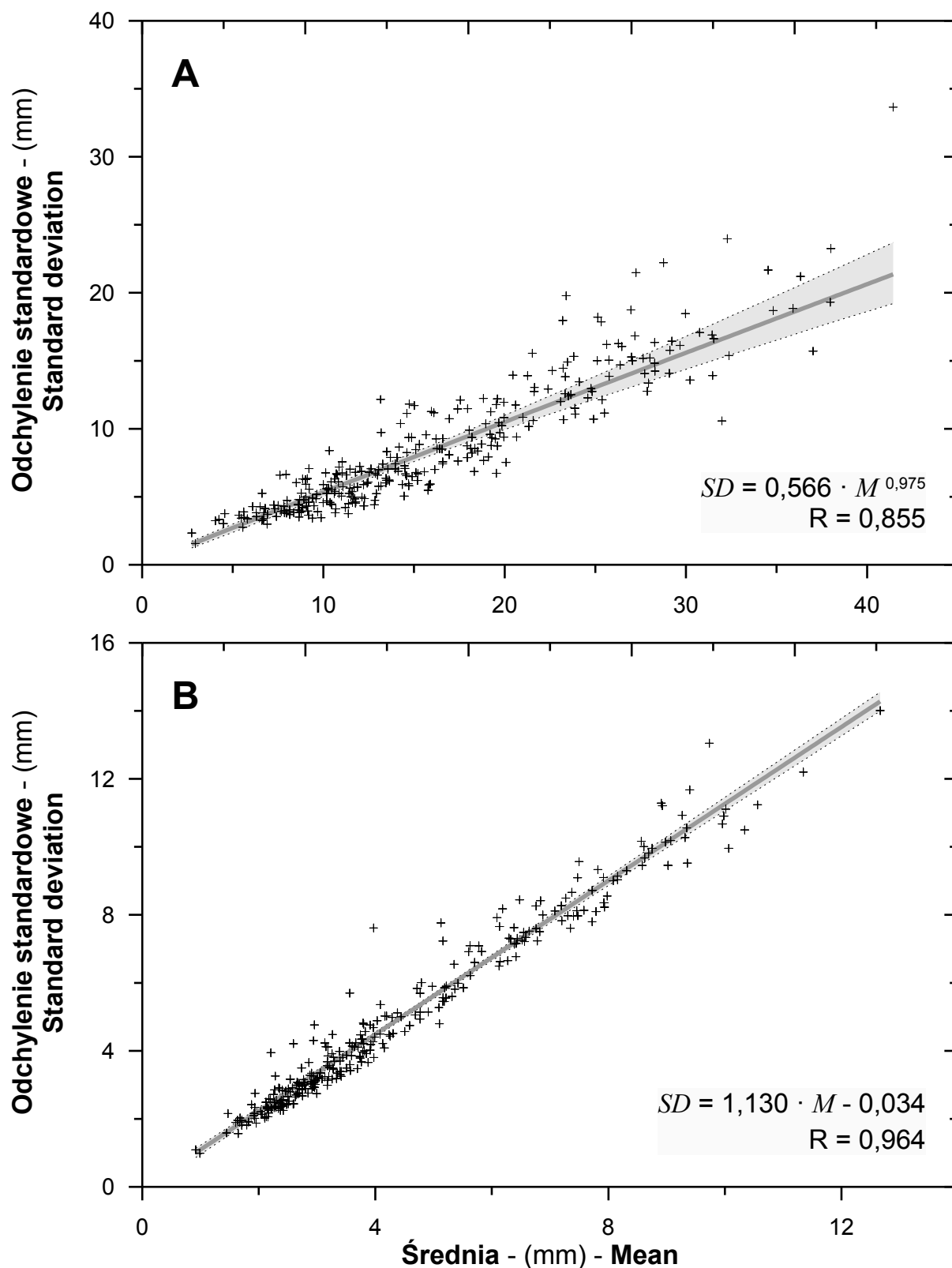
Charakterystyczną cechą zbiorów danych miesięcznych MSDO jest silna ($R = 0,855$), wprost proporcjonalna relacja pomiędzy wartością średnią a odchyleniem standardowym (ryc. 42A). Jest to właściwość nazywana w statystyce heteroscedastycznością (gr. *hetero* – różny i *skedasis* – rozrzut, rozproszenie), kiedy sekwencja lub wektor zmiennych losowych charakteryzuje zróżnicowanie wariacji (Goovaerts 1997, Isaaks, Srivastava 1989). Dla zmiennych prawoskośnych zazwyczaj wariancja wzrasta wraz ze wzrostem średniej, dla zmiennych lewoskośnych – maleje (ryc. 41). Relacja między średnią a wariancją ma charakter funkcji kwadratowej, z czego wynika, że relacja pomiędzy średnią a odchyleniem kwadratowym powinna być liniowa. Przykładów takich zmiennych jest bardzo wiele zarówno

w środowisku przyrodniczym, jak społeczno-gospodarczym. Kiedy porównujemy na przykład wysokości terenu z obszaru Wielkopolski (nizina) z notowanymi w Tatrach (góry), stwierdzamy, że rośnie nie tylko średnia wysokość ponad poziom morza, ale także ich zróżnicowanie (przeciętne deniwelacje pomiędzy szczytami i obniżeniami). W praktyce statystycznej i ekonometrycznej (Hamilton 1994, Kennedy 1998, Salvatore, Reagle 2002) istnienie hetroscedastyczności danych uważane jest za niekorzystne, ponieważ utrudnia identyfikację poprawnych modeli regresyjnych opartych na metodzie zwykłych najmniejszych kwadratów (ang. OLS – *Ordinary Least Squares*). W kontekście problemu niniejszej rozprawy jest to jednakże właściwość, która umożliwia ocenę relacji bezwzględnych wysokości MSDO na podstawie wiedzy o ich zmienności (por. rozdział VI).

Omawiana zależność (ryc. 42A), bardzo zbliżona do liniowej, pokazuje, że odchylenie standardowe wynosi zazwyczaj około 56 % wartości średniej. Od linii regresji najsilniej *in plus* odstaje przypadek z lipca 1970 roku, a *in minus* – z października roku 1974. Podobne, choć nieco słabsze, wprost proporcjonalne zależności występują między maksimum miesięcznych MSDO a ich odchyleniem standardowym ($R = 77,8\%$), między skośnością a kurtozą ($R = 77,2\%$) oraz między średnią a maksimum ($R = 64,8\%$).



Ryc. 41. Hipotetyczne profile danych w czasie bądź w przestrzeni ilustrujące pospolite relacje pomiędzy lokalnymi średnimi i lokalną zmiennością (Isaaks, Srivastava 1989): (a) – średnia, reprezentowana przez poziomą linię oraz zmienność są stałe, (b) – trend średniej, zmienność pozostaje stała, (c) – średnia jest stała, a zmienność się zwiększa lub maleje, (d) – zarówno lokalne średnie, jak i lokalna zmienność rosną lub maleją.



Ryc. 42. Relacja między średnią a odchyleniem standardowym MSDO w poszczególnych miesiącach wielolecia 1956-1980: A – statystyki globalne, B – różnice wartości opadów w stosunku do najbliższego sąsiada. Na wykresach zaznaczono krzywą regresji oraz jej 99% przedział ufności. Podano także wzór funkcji i współczynnik determinacji regresji.

Tabela 5. Statystyki opisowe rocznych MSDO w latach 1956-1980.

| Rok | Minimum | Q1 | Mediana | Q3 | Maksimum | Średnia | SD | Skośność |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------|-----------------|
| Year | Minimum | First quartile | Median | Third quartile | Maximum | Mean | St. Dev. | Skewness |
| 1956 | 14,6 | 30,1 | 38,1 | 50,1 | 108,1 | 41,4 | 15,0 | 0,988 |
| 1957 | 12,5 | 30,3 | 39,5 | 53,4 | 189,7 | 44,0 | 19,4 | 1,628 |
| 1958 | 12,6 | 28,0 | 35,2 | 46,6 | 181,9 | 41,2 | 21,4 | 2,287 |
| 1959 | 11,3 | 28,0 | 36,6 | 48,8 | 144,2 | 40,7 | 18,0 | 1,447 |
| 1960 | 12,5 | 31,7 | 40,7 | 54,3 | 181,8 | 45,3 | 19,8 | 1,689 |
| 1961 | 11,7 | 28,2 | 35,4 | 46,5 | 123,0 | 38,8 | 15,0 | 1,271 |
| 1962 | 13,1 | 26,8 | 34,4 | 45,4 | 177,7 | 38,6 | 17,6 | 2,038 |
| 1963 | 14,2 | 28,2 | 35,4 | 45,2 | 136,1 | 38,4 | 14,7 | 1,429 |
| 1964 | 10,0 | 25,4 | 33,7 | 48,0 | 191,8 | 40,1 | 22,7 | 2,143 |
| 1965 | 15,3 | 30,2 | 39,4 | 50,5 | 174,0 | 42,4 | 16,9 | 1,572 |
| 1966 | 10,8 | 32,2 | 42,0 | 55,0 | 221,0 | 45,8 | 18,4 | 1,555 |
| 1967 | 15,3 | 30,1 | 38,4 | 50,6 | 133,9 | 41,8 | 15,4 | 1,065 |
| 1968 | 14,3 | 28,2 | 36,6 | 49,3 | 190,6 | 40,9 | 17,9 | 1,678 |
| 1969 | 10,9 | 28,4 | 35,2 | 46,7 | 155,4 | 39,3 | 15,7 | 1,597 |
| 1970 | 15,4 | 32,3 | 43,0 | 60,5 | 242,9 | 51,5 | 30,2 | 2,298 |
| 1971 | 12,5 | 27,8 | 34,8 | 45,7 | 173,0 | 38,0 | 14,9 | 1,683 |
| 1972 | 14,6 | 31,9 | 41,9 | 54,8 | 223,5 | 46,3 | 21,5 | 2,389 |
| 1973 | 11,9 | 26,1 | 32,5 | 42,1 | 300,0 | 37,3 | 20,2 | 4,333 |
| 1974 | 15,4 | 33,8 | 41,7 | 50,4 | 163,0 | 44,1 | 14,6 | 1,550 |
| 1975 | 15,0 | 32,5 | 40,7 | 51,3 | 146,5 | 43,5 | 15,4 | 1,302 |
| 1976 | 13,0 | 25,1 | 30,8 | 39,4 | 166,1 | 34,6 | 14,4 | 2,040 |
| 1977 | 15,0 | 31,7 | 40,1 | 52,4 | 193,4 | 44,0 | 18,0 | 1,729 |
| 1978 | 12,8 | 27,1 | 34,2 | 45,0 | 210,8 | 39,5 | 20,3 | 2,538 |
| 1979 | 12,3 | 27,3 | 34,3 | 42,0 | 205,6 | 37,2 | 17,3 | 3,132 |
| 1980 | 16,4 | 33,4 | 42,0 | 54,2 | 168,3 | 46,4 | 18,6 | 1,580 |

Do oceny możliwości występowania długookresowego trendu rocznych i miesięcznych statystyk MSDO z wielolecia 1956-1980 użyto nieparametrycznego testu Manna-Kendalla, w jego modyfikacji uwzględniającej sezonowość (Hirsch i in. 1982). Jest on szeroko używany w naukach przyrodniczych i społeczno-gospodarczych ze względu na prostotę, stabilność oraz możliwość uwzględniania braków danych i wartości poniżej progu detekcji. W niniejszym opracowaniu posłużono się jego implementacją opracowaną przez Libiseller i Grimvall (2002, <http://www.mai.liu.se/~clib/welcome/PMKtest.html>). Roczne dane MSDO nie wykazują w analizowanym wieloleciu żadnych istotnych statystycznie tendencji. Nieco inaczej wygląda rezultat testu dla miesięcznych MSDO (tab. 7). Wskazuje on, że w latach 1956-1980 zmalały ich maksima, zróżnicowanie i skośność. Przegląd szczegółowych wyników dla poszczególnych miesięcy ujawnia, że zmiany dotyczą przede wszystkim miesięcy zimowych. Na przykład maksima ($r = -0,56$) i odchylenia standardowe ($r = -0,55$) dla marcowych MSDO wykazują spadek na poziomie istotności $p=0,002$.

Tabel 6. Statystyki opisowe MSDO dla poszczególnych miesięcy i całego roku w latach 1956-1980.

| Miesiąc | Liczebność | Minimum | Maksimum | Średnia | Mediana | SD | Skośność | Kurtoza |
|-------------|------------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Month | Count | Minimum | Maximum | Mean | Median | St. Dev. | Skewness | Kurtosis |
| <i>I</i> | 61 512 | 0,1 | 163,0 | 9,1 | 8,0 | 5,6 | 3,050 | 32,410 |
| <i>II</i> | 61 615 | 0,0 | 109,0 | 8,9 | 7,8 | 5,8 | 2,130 | 14,080 |
| <i>III</i> | 61 954 | 0,0 | 103,0 | 9,4 | 8,3 | 5,4 | 1,850 | 10,720 |
| <i>IV</i> | 62 229 | 0,0 | 221,0 | 13,2 | 11,8 | 7,7 | 2,150 | 19,690 |
| <i>V</i> | 62 535 | 0,0 | 223,5 | 19,1 | 16,5 | 11,8 | 2,160 | 12,610 |
| <i>VI</i> | 62 580 | 0,1 | 300,0 | 24,5 | 21,0 | 15,4 | 2,360 | 15,400 |
| <i>VII</i> | 62 645 | 0,4 | 242,9 | 27,5 | 23,5 | 17,8 | 2,190 | 12,590 |
| <i>VIII</i> | 62 618 | 0,6 | 215,5 | 25,0 | 21,3 | 16,2 | 2,120 | 12,150 |
| <i>IX</i> | 62 679 | 0,0 | 145,0 | 16,8 | 14,8 | 10,4 | 1,680 | 9,170 |
| <i>X</i> | 62 580 | 0,0 | 108,1 | 14,5 | 12,3 | 10,1 | 1,530 | 6,940 |
| <i>XI</i> | 62 356 | 0,0 | 80,1 | 12,7 | 11,3 | 6,7 | 1,620 | 7,810 |
| <i>XII</i> | 62 182 | 0,0 | 82,7 | 10,7 | 9,7 | 6,1 | 1,730 | 10,020 |
| <i>Rok</i> | 61 940 | 10,0 | 300,0 | 41,6 | 37,3 | 18,8 | 2,213 | 9,715 |

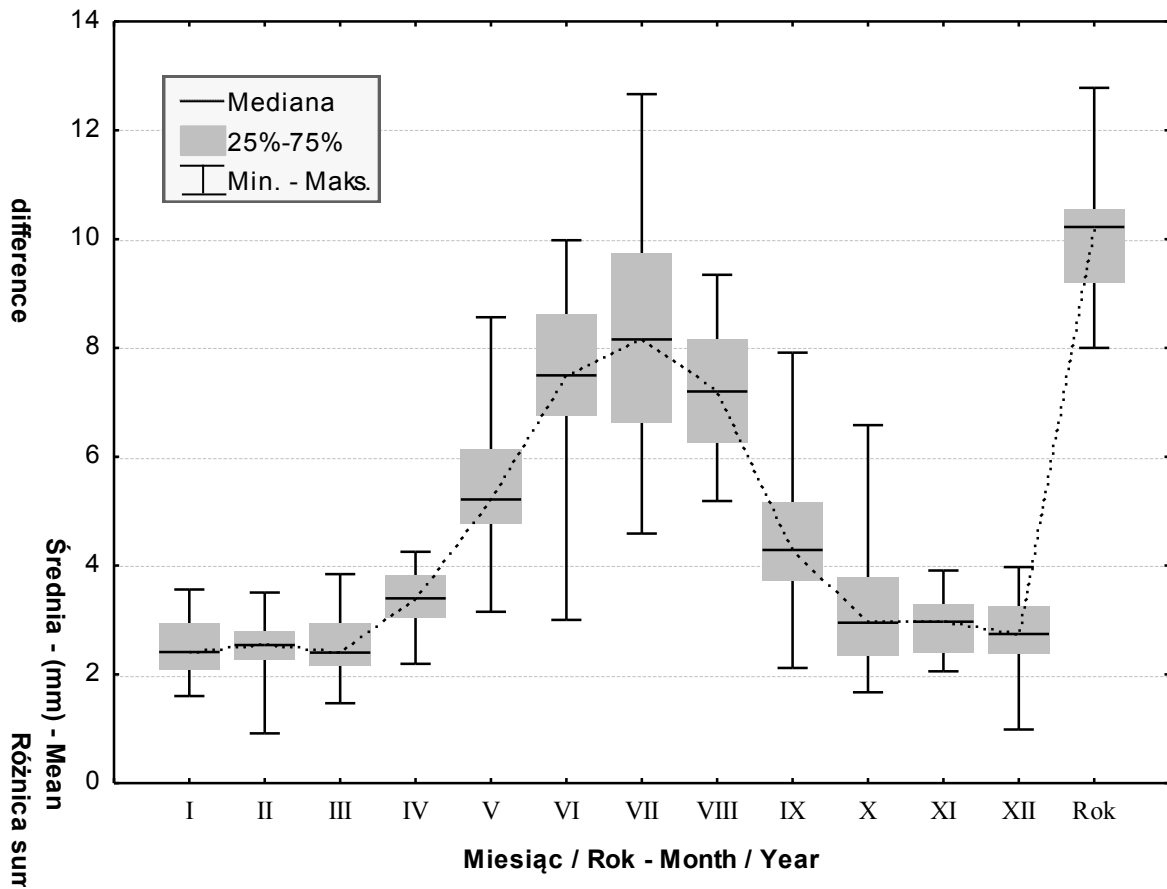
Tabela 7. Ogólny wynik testu Manna-Kendalla na obecność liniowego trendu statystyk miesięcznych MSDO.

| Parametr | Parameter | n | Stat. testu | Odch. Std. | Stat. MK | Poziom <i>p</i> |
|---------------|---------------------|-----|-------------|------------|----------|-----------------|
| | | n | Test stat. | Std. Dev. | MK stat. | <i>p</i> -value |
| Minimum | Minimum | 300 | 184 | 186,252 | 0,9879 | 0,3232 |
| 1Q (25%) | First Quartile | 300 | 117 | 190,619 | 0,6138 | 0,5395 |
| Mediana (50%) | Median | 300 | 74 | 179,265 | 0,4128 | 0,6798 |
| 3Q (75%) | Third Quartile | 300 | 48 | 168,408 | 0,2850 | 0,7756 |
| Maksimum | Maximum | 300 | -333 | 139,026 | -2,3952 | 0,0166 |
| Zakres | Range | 300 | -350 | 135,056 | -2,5915 | 0,0096 |
| 3Q - 1Q | Interquartile Range | 300 | 6 | 148,400 | 0,0404 | 0,9677 |
| Średnia | Mean | 300 | 20 | 175,970 | 0,1137 | 0,9095 |
| Odch. stand. | Stan. Deviation | 300 | -200 | 144,074 | -1,3882 | 0,1651 |
| Skośność | Skewness coef. | 300 | -374 | 171,422 | -2,1818 | 0,0291 |

V.7. Charakterystyka danych źródłowych za pomocą lokalnych statystyk opisowych

Przedstawiona niżej analiza statystyk lokalnych ma istotne ograniczenia. O ile w każdym jej momencie dysponowano surowymi danymi pomiarowymi MSDO, to w drugim wymienionym zakresie używane oprogramowanie (Surfer wersja 8) takiej możliwości nie stwarzało. Oznacza to, że nie było bezpośredniego „dostępu” do zbioru różnic NN; uzyskano jedynie pełen zestaw ich statystyk opisowych dla każdego z 325 analizowanych zbiorów

MSDO. Tak więc w niektórych z zamieszczonych poniżej rycin przedstawione są „statystyki ze statystyk”.



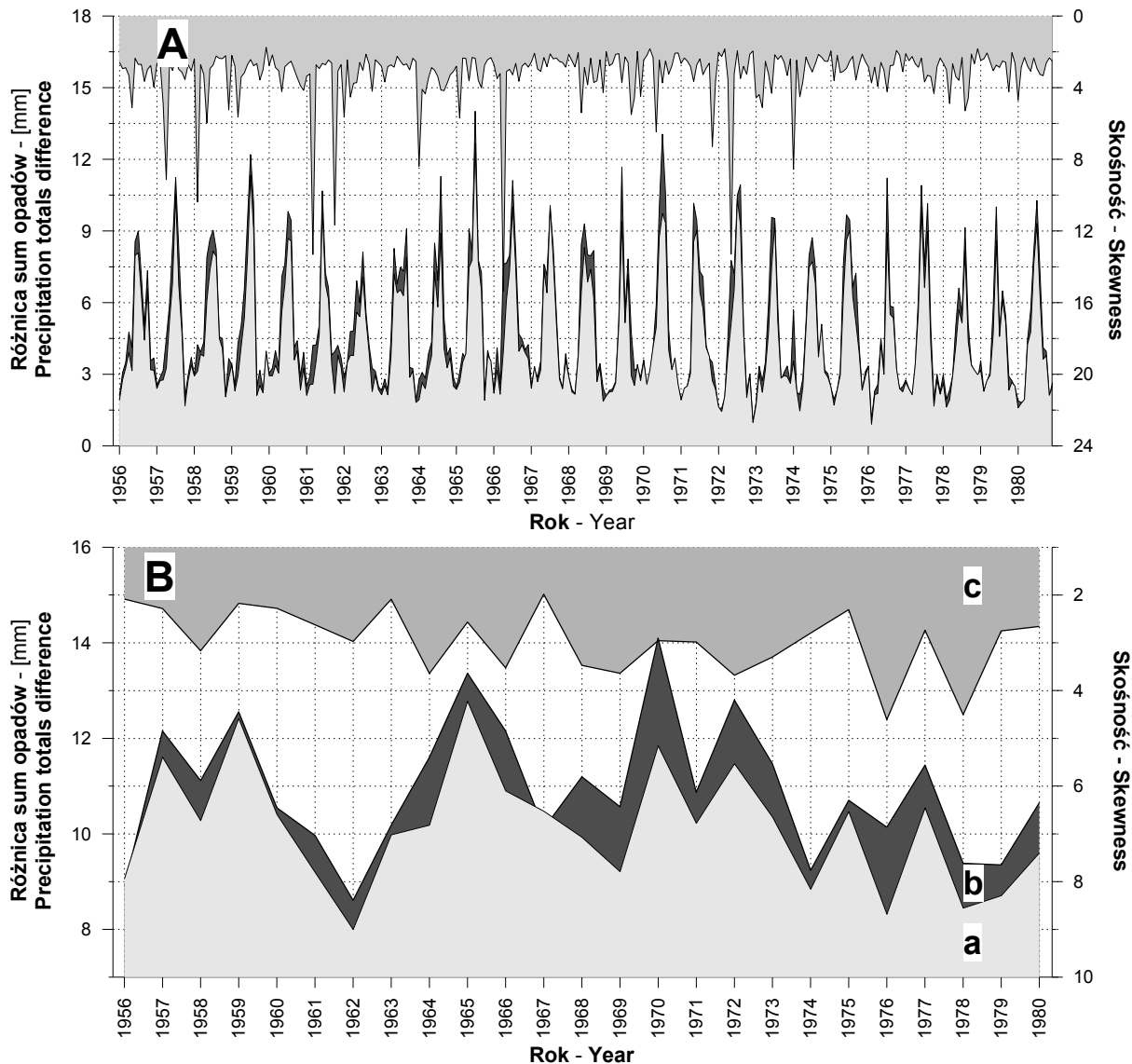
Ryc. 43. Mediana, przedział międzykwartylowy oraz zakres miesięcznych i rocznych średnich różnic MSDO w najbliższych stanowiskach w wieloleciu 1956-1980.

Zmienność sezonowa statystyk różnic MSDO w najbliższych stanowiskach jest jeszcze silniej zarysowana i dotyczy wszystkich, oprócz minimum (które w każdym miesiącu wynosiło oczywiście 0 mm) i skośności, parametrów (ryc. 43 i 44). Średnia różnica, dla całości danych miesięcznych wynosząca 4,4 mm, waha się od 2,5-2,6 mm w styczniu, lutym i marcu do 8,2 mm w lipcu. Rozkład wartości jest jednak zazwyczaj silnie prawoskośny (średnia skośność to 3,221, maksymalnie nawet 15,37 w kwietniu roku 1966), co powoduje spore rozbieżności między średnią a medianą. Przeciętna mediana dla miesięcy wynosi zatem jedynie 2,9 mm i zmienia się od 1,7 mm w styczniu i lutym do 5,4 mm w lipcu. Przebieg sezonowy jest bardziej symetryczny, niż miało to miejsce przy statystykach globalnych. Wyraźnie odróżniają się od siebie dwa półrocza: od października do marca i między kwietniem a wrześniem. W pierwszym z nich różnice NN MSDO są niskie i mało

zróżnicowane, w drugim zmieniają się znacznie z miesiąca na miesiąc. Średnie miesięczne odchylenie standardowe różnic dla wszystkich 300 przypadków wynosi 4,9 mm i waha się od 1,0 do 14,0 mm. Jego sezonowa zmienność mieści się między 2,7 mm w styczniu i lutym a 9,1 mm w lipcu. Bardzo charakterystyczny jest rozkład maksimum analizowanej cechy zbioru danych miesięcznych MSDO. Średnia miesięczna maksymalna różnica dla 25-lecia 1956 – 1980 wynosiła 53,0 mm i wahała się w przedziale od 7,6 mm w grudniu 1972 roku do 199,8 mm w maju tego samego roku. Również ta cecha ma wyraźny rozkład sezonowy, jednak w pewnych szczegółach jest on odmienny od opisywanych poprzednio. Podobnie jak poprzednio najmniejsze maksymalne różnice notowane są w styczniu (średnio 30,3 mm), a największe w lipcu (średnio 86,9 mm), ale inne są charakterystyki jej zmienności. Miesiącem wyraźnie dominującym w tym aspekcie jest maj i nie wynika to jedynie z powodu wystąpienia jednej ekstremalnej wartości we wspomnianym powyżej maju roku 1972. Zmienność maksimum różnic również w czerwcu i sierpniu była większa niż w lipcu, a dwa pozostałe przypadki, kiedy cecha ta osiągnęła więcej niż 195 mm wystąpiły w kwietniu i sierpniu. Między majem a sierpniem zdarzają się w Polsce średnio więcej niż w raz w roku sytuacje, kiedy na dystansie kilku/kilkunastu kilometrów różnice maksymalnych sum dobowych przekraczają 100 mm. W pozostałych miesiącach są to przypadki sporadyczne.

Zależność między średnią a odchyleniem standardowym, jeszcze silniejsza niż opisana powyżej, istnieje również w statystykach najbliższego sąsiada (ryc. 42B). Współczynnik kierunkowy regresji jest prawie dwukrotnie większy niż poprzednio, czyli odchylenie standardowe jest przeciętnie o 10 % większe od średniej. Przypadki odstające są mniej widoczne niż poprzednio. Wyraźnie zaznaczają się jedynie dwa usytuowane powyżej krzywej regresji. Są to, ponownie, lipiec roku 1970 i czerwiec roku 1966.

Różnice NN rocznych MSDO są wyraźnie wyższe niż w każdym z miesięcy (ryc. 43 i 44). Średnie wahały się od 8,0 mm w roku 1962 do 12,8 mm w roku 1965 wynosząc przeciętnie 10,1 mm. Rozkład danych rocznych był nieco mniej skośny niż miesięcznych (2,953) i znacznie bardziej stabilny pod tym względem (od 1,985 do 4,611). Mediana jest zatem również wyraźnie niższa od średniej i wynosi 6,9 mm (5,2-9,0 mm). Odchylenie standardowe wynosiło przeciętnie 10,9 mm (8,6-14,1 mm) i tylko w latach 1956 i 1967 było niższe od średniej. Maksima różnic NN rocznych MSDO zmieniały się 58,3 mm w 1956 roku do 181,5 w roku 1978 i wynosiły przeciętnie 112,8 mm. Zastosowanie testu Manna-Kendalla nie ujawniło istnienia żadnego istotnego liniowego trendu rocznych statystyk NN MSDO.



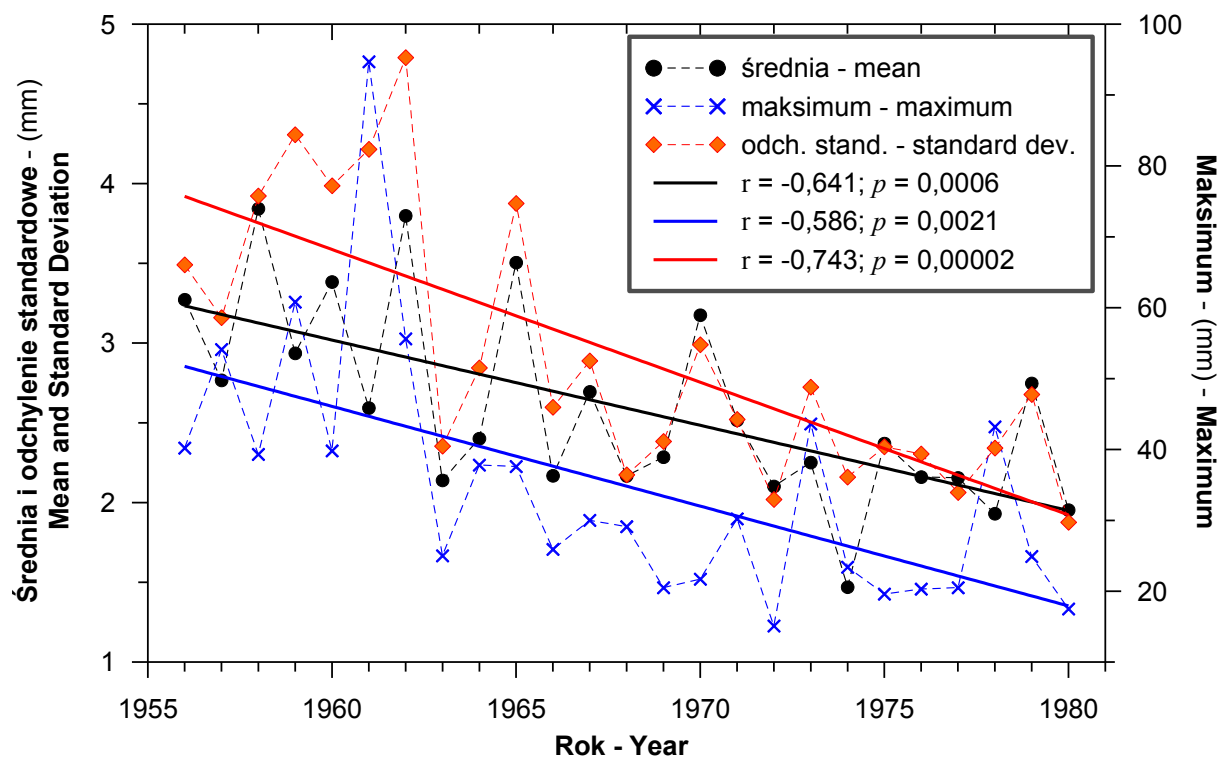
Ryc. 44. Wartości średnie (a), odchylenie standardowe (b) i skośność (c) różnic MSDO w najbliższych stanowiskach w kolejnych miesiącach (A) i latach (B) wielolecia 1956-1980.

Ogólny wynik testu Manna-Kendalla (tab. 8) wskazuje na obecność w analizowanym zbiorze statystyk NN MSDO szeregu istotnych tendencji. Są to wszystko trendy ujemne i dotyczą wartości trzeciego kwartyla, maksimum, zakresu, zakresu międzykwartyłowego, średniej, odchylenia standardowego i skośności. Przegląd statystyk M-K dla poszczególnych miesięcy wykazał, że rezultaty te są w głównej mierze uwarunkowane zmianami w owych charakterystykach w miesiącach zimowych i wiosennych, a zwłaszcza w marcu i lutym. Koresponduje to nieco z przedstawionymi poprzednio, wynikami tego samego testu statystyk globalnych. W kilku przypadkach (marzec: maksimum, zakres, średnia, odchylenie standardowe; luty: odchylenie standardowe) trendy były istotne na poziomie $p < 0,001$. Jako

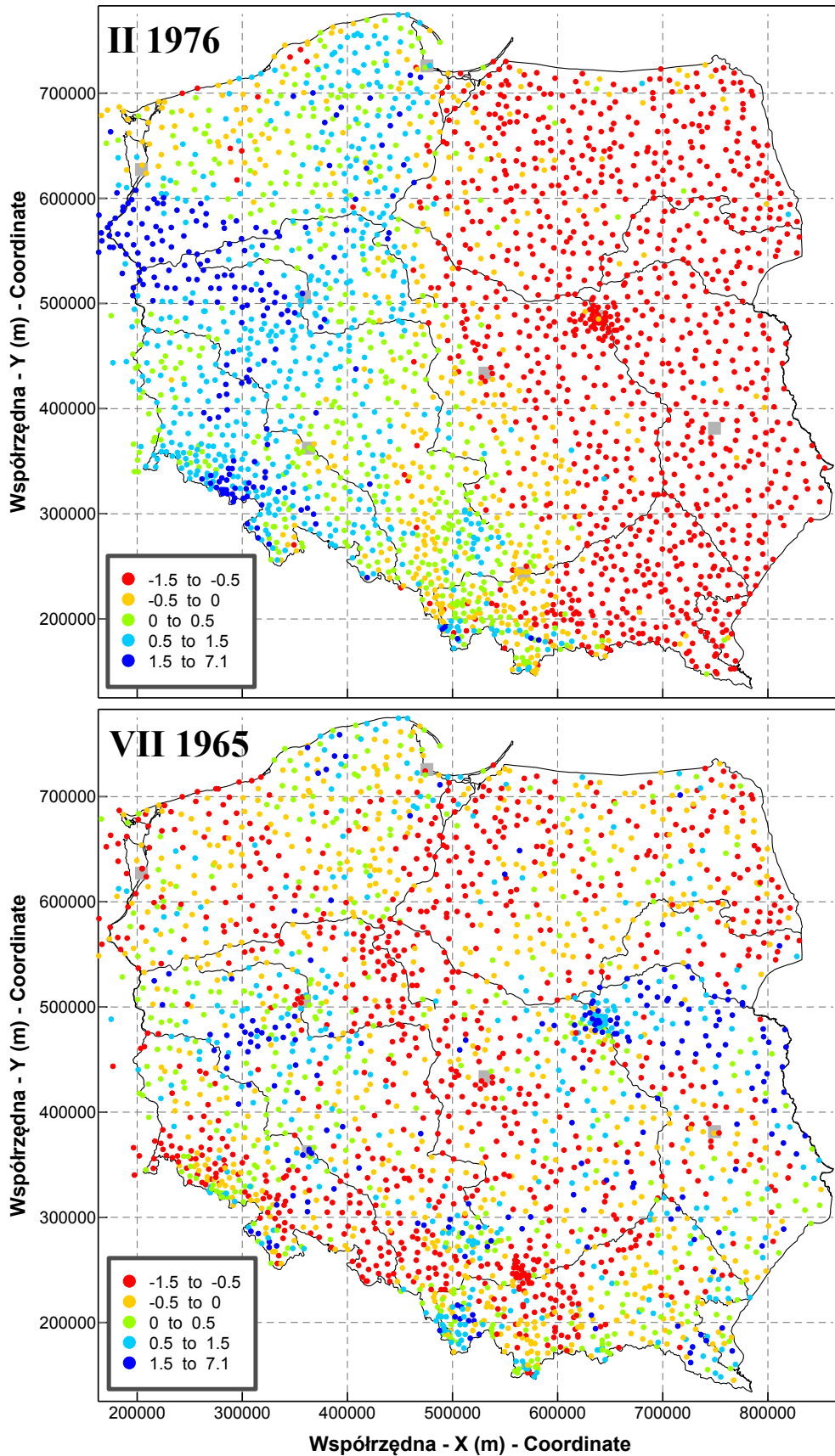
przykład umieszczono wykres pokazujący tendencję średnich i maksymalnych różnic NN miesięcznych MSDO oraz ich odchyłeń standardowych dla marca (ryc. 45). Proces zmniejszania się, w ujęciu wieloletnim, lokalnej zmienności ekstremalnych opadów to jeden z ciekawszych wyników uzyskanych w tej części niniejszej rozprawy. Ten aspekt wymagałby osobnej i bardziej wnikliwej analizy dokonanej na danych z dłuższego wielolecia.

Tabela 8. Ogólny wynik testu Manna-Kendalla na obecność liniowego trendu statystyk różnic wysokości opadów w najbliższych stanowiskach miesięcznych MSDO.

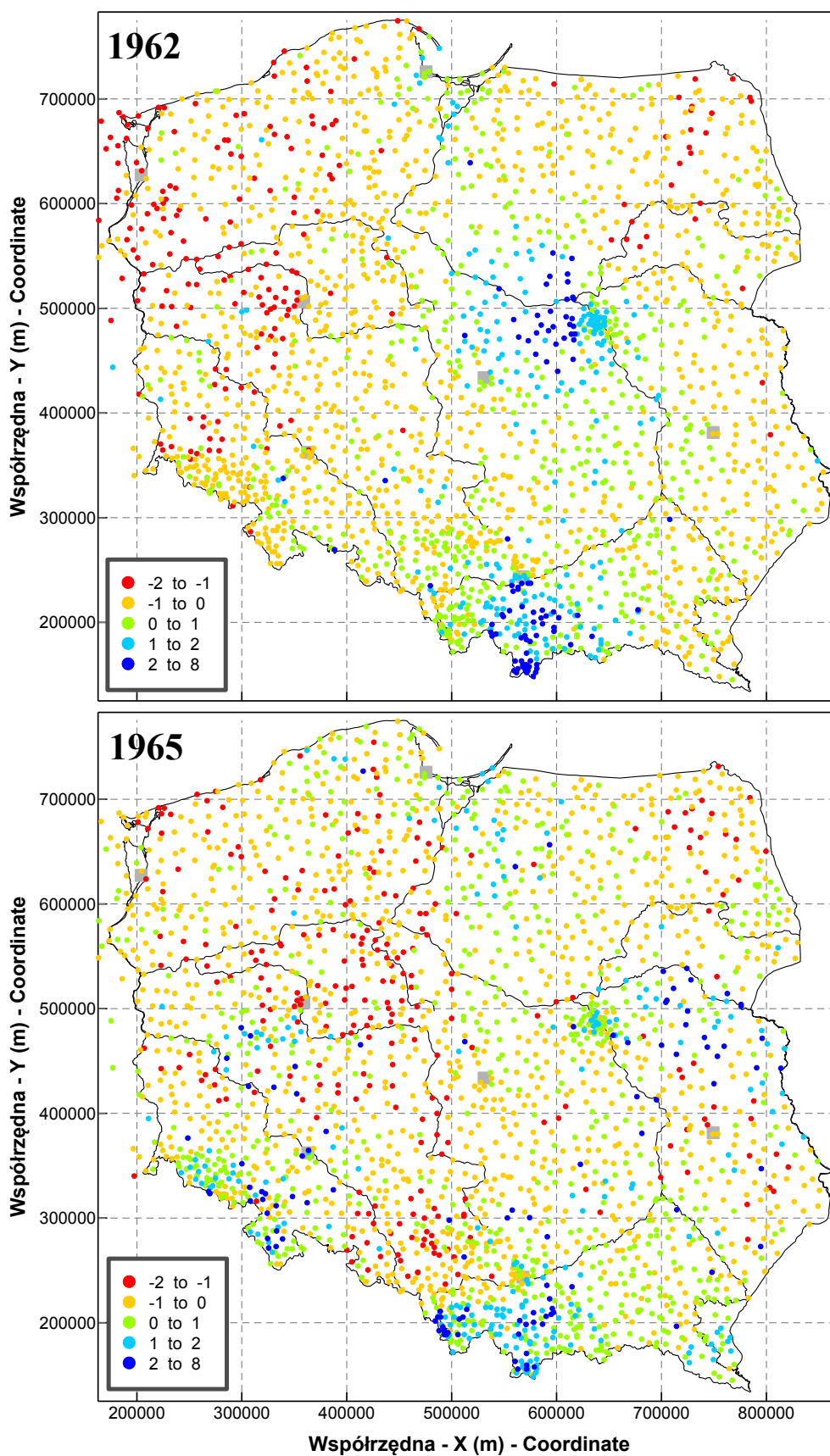
| Parametr | Parameter | n | Stat. testu Test stat. | Odch. Std. Std. Dev. | Stat. MK MK stat. | Poziom <i>p</i> <i>p</i> -value |
|---------------|---------------------|-----|---------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1Q (25%) | First Quartile | 300 | -251 | 187,271 | -1,3403 | 0,1801 |
| Mediana (50%) | Median | 300 | -323 | 195,647 | -1,6509 | 0,0988 |
| 3Q (75%) | Third Quartile | 300 | -477 | 194,512 | -2,4523 | 0,0142 |
| Maksimum | Maximum | 300 | -515 | 161,531 | -3,1882 | 0,0014 |
| Zakres | Range | 300 | -515 | 161,531 | -3,1882 | 0,0014 |
| 3Q - 1Q | Interquartile Range | 300 | -522 | 195,349 | -2,6721 | 0,0075 |
| Średnia | Mean | 300 | -540 | 196,109 | -2,7536 | 0,0059 |
| Odch. stand. | Stan. Deviation | 300 | -720 | 186,269 | -3,8654 | 0,0001 |
| Skośność | Skewness coef. | 300 | -356 | 176,560 | -2,0163 | 0,0438 |



Ryc. 45. Trendy statystyk różnic względem do najbliższego sąsiada miesięcznych MSDO dla marca w wieloleciu 1956-1980.



Ryc. 46. Mapy punktowe standaryzowanych wysokości opadu dla miesięcy charakteryzujących się najmniejszą (II-1976) i największą (VII-1965) średnią zmiennością lokalną MSDO.



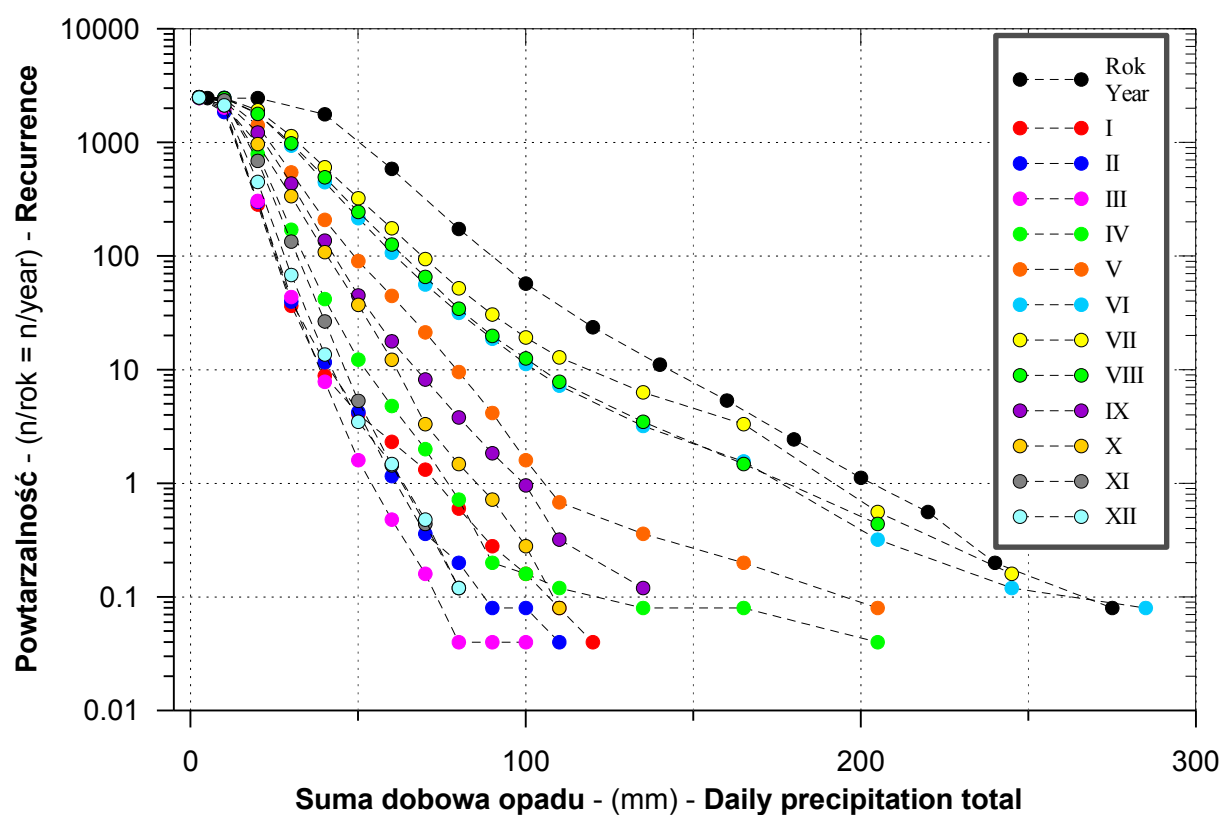
Ryc. 47. Mapy punktowe standaryzowanych wysokości opadu dla lat charakteryzujących się najmniejszą (1962) i największą (1965) średnią zmiennością lokalną MSDO.

Na rycinach 46 i 47 znajdują się mapy punktowe pokazujące rozkład MSDO w miesiącach i latach o najniższych i najwyższych wartościach średnich różnic NN. Aby z obrazu wyeliminować wpływ bezwzględnej wysokości opadów, ich wartości zostały zestandaryzowane. Istota odmienności jest szczególnie wyraźnie widoczna na mapach miesięcznych MSDO. W lutym 1976 cały obszar na wschód od górnej Warty, Noteci i dolnej Wisły cechował się mało zróżnicowanymi skrajnie niskimi, lub wręcz zerowymi opadami. Również na zachód od tej linii, mimo wyraźnie większych opadów, ich zmienność przestrzenna jest niewielka. W zasadzie, na całym terytorium kraju nie zaobserwowano sytuacji, aby punkty należące do skrajnych klas (czerwonej i ciemnoniebieskiej) ze sobą bezpośrednio sąsiadowały. Obraz z lipca 1965 jest wyraźnie odmienny. Dominuje mozaika niewielkich, nieregularnych powierzchni z opadami w zbliżonych klasach wysokości, a wielu miejscach punkty ze skrajnie niskimi i wysokimi MSDO są położone bardzo blisko siebie. Tak silnych kontrastów nie widać na mapach rocznych MSDO z 1962 i 1965 roku. Mimo to różnice są, przy bardziej wnikliwym oglądzie, wyraźne, szczególnie w postaci liczby pojedynczych punktów w skrajnie wysokich i niskich klasach opadów występujących pośród stanowisk, gdzie zanotowano przeciętne MSDO (w zakresie ± 1 SD).

V.8. Relacje czasowe

Analizowany zbiór danych rocznych i miesięcznych MSDO przedstawiono także poprzez określenie powtarzalności sum opadów w określonych przedziałach ich wysokości (ryc. 48). Nie można jednakże zestawionych w taki sposób wartości w żaden sposób utożsamiać z rzeczywistą częstością występowania punktowych sum dobowych opadów o różnej wysokości. Jakkolwiek sieć pluwiometryczna na terenie naszego kraju była w wieloleciu 1956-1980 bardzo gęsta, to jednak z pewnością nie każdy opad został w niej zarejestrowany, a w wielu przypadkach lokalizacje maksymalnych wydajności stwierdzonych opadów znajdowały się gdzieś pomiędzy posterunkami pomiarowymi. Poza tym, specyfiką zbioru MSDO jest rejestrowanie dla poszczególnych stanowisk, tylko jednej, najwyższej sumy dobowej w miesiącu lub roku. Z pewnością zdarzały się wielokrotnie sytuacje, że w danej lokalizacji równie wysokie opady mogły występować częściej niż jeden raz. Nie powinny jednak być to różnice diametralne. Wskazuje na to regularny raczej układ krzywych na rycinie 48. Wynika z nich, że średnio każdego roku w analizowanym wieloleciu notowano pięćdziesiąt kilka przypadków sum dobowych przekraczających 100 mm, 7 do 8 wystąpień opadów powyżej 150 mm i jednokrotnie sumy wyższe od 200 mm. Największy odsetek

takich zdarzeń miał miejsce w lipcu – odpowiednie wartości częstości były następujące: 20, 4 do 5 i 0,7 do 0,8 (co 1,25 do 1,43 roku). Zbliżony do lipcowego rozkład częstości wysokich sum dobowych opadów mają także czerwiec i sierpień; pozostałe miesiące różnią się już znacznie pod tym względem. Bardzo charakterystyczne i zbliżone do siebie kształtem są krzywe powtarzalności dla kwietnia i maja. Wykazują one wyraźne załamanie i dla MSDO powyżej 110 mm (w maju) lub 90 mm (w kwietniu) przebieg tych krzywych zbliżony jest raczej do typowego dla miesięcy letnich. Poniżej tych wartości układają się one konsekwentnie w obrębie grupy miesięcy jesienno-zimowo-wiosennych. Najniższe częstości MSDO, szczególnie dla wartości powyżej 40 mm, występują w marcu. Ze względu na wspomniane wyżej ograniczenia posiadanego zbioru danych do oceny częstości punktowych MSDO na terenie naszego kraju, do obliczonych empirycznych wartości powtarzalności nie dopasowywano żadnych funkcji umożliwiających ich ekstrapolację. Z wykresów (ryc. 48) odczytano jedynie przybliżone wartości miesięcznych i rocznych MSDO o powtarzalności 0,1 (raz na 10 lat). Wynosiły one dla kolejnych miesięcy roku kalendarzowego: 106, 87, 73, 121, 195, 263, 262, 250, 139, 108, 81 i 81 mm. Roczna MSDO o takiej powtarzalności wynosi około 267 mm.



Ryc. 48. Powtarzalność (ilość przypadków rocznie) na terytorium Polski miesięcznych i rocznych MSDO o określonej wysokości na podstawie danych z wielolecia 1956-1980.

Zestawienie dat i wysokości rocznych MSDO (ryc. 49) pokazuje, że w Polsce takie zdarzenie może być zarejestrowane każdego dnia w roku. Prawdopodobieństwo jego wystąpienia do pierwszej dekady kwietnia i po połowie października jest jednak bardzo niskie. Wysokie sumy dobowe opadów częściej występują jesienią, niż zimą i na początku wiosny. Również wysokości rocznych MSDO są silnie zróżnicowane sezonowo. Opady o sumach przekraczających 100 mm na dobę przed połową maja i po połowie sierpnia występują bardzo rzadko. Przez 25 lat w okresie obejmującym blisko 75% roku zanotowano tylko 89 takich maksimów rocznych, na łączną liczbę 892. Losowy charakter wysokich sum opadów dobowych widoczny jest nawet w 25 letniej serii obserwacyjnej dla przekraczającej 2400 stanowisk sieci obserwacyjnej. Na rycinie 49 wyraźnie zaznaczają się zarówno pojedyncze opady rejestrowane w setkach stanowisk, jak i kilku dniowe okresy, w których takie zdarzenie przez 25 lat ani razu nie wystąpiło. Do tej pierwszej grupy należą między innymi opady z 18 lipca 1970 roku, kiedy maksimum roczne zostało zanotowane w 742 stanowiskach, 8 sierpnia 1978 roku (558 stanowisk), 10 sierpnia 1964 (468 stanowisk), 14 maja 1962 roku (573 stanowisk) i kilka innych. „Dziury” w wykresie w okresach wysokiej częstotliwości występowania rocznych dobowych maksimów opadowych są widoczne na przykład dla przedziału od 5-7 sierpnia (tylko 623 przypadki), czy też 1-2 lipca (368 przypadków). Na uwagę zasługuje również najdłuższy, bo 4 dniowy okres pomiędzy 24 a 27 marca, w trakcie którego przez 25 lat w żadnym punkcie pomiarowym nie zanotowano sumy dobowej opadu, która byłaby zaklasyfikowana jako najwyższa w roku.

W tabeli 9 zestawiono 18 przypadków sum dobowych opadów przekraczających 200 mm, a zanotowanych w wieloleciu 1956-1980. Aż 12 wystąpiło w trakcie jedynie dwóch epizodów, które miały miejsce w Zachodnich Karpatach: 18 lipca 1970 i 30 czerwca 1973 roku. Najwyższy opad dobowy, wynoszący 300 mm, zarejestrowano w tym drugim terminie na Hali Gąsienicowej w Tatrach. Jak wynika z zestawienia dokonanego przez Prokopa (2007), był to prawdopodobnie najwyższy opad dobowy na terenie naszego kraju w całym okresie obserwacji instrumentalnych. Jednakże nie jest to, jak można by sądzić, jakaś poziom maksymalny, wynikający z położenia geograficznego Polski. Blisko bowiem granic naszego kraju zanotowano sumy dobowe wyraźnie wyższe (Prokop 2007). Było to bowiem 353 mm w Zinnwald-Georgenfeld (Saksonia, Niemcy, 12/13.08.2002 r.), oraz 345,1 mm w Nova Louka (Góry Izerskie, Czechy, 30.07.1897). Z szacunków maksymalnych prawdopodobnych opadów (ang. *probable maximum precipitation*) na terenie Czech o różnym czasie trwania, wykonanych przez Rezacovą i in (2005) wynika, że w kilku przygranicznych górskich i

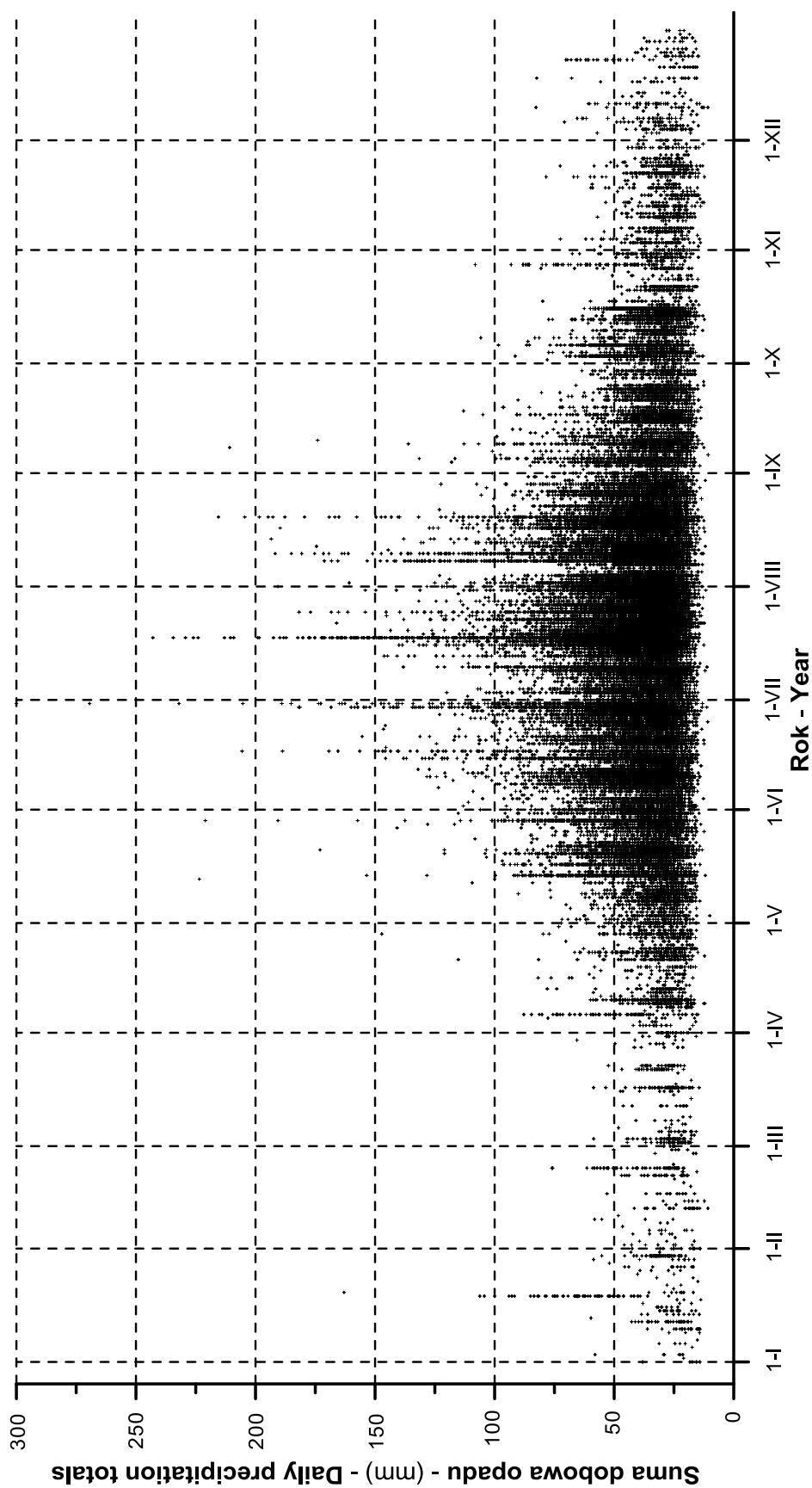
pagórkach obszarach punktowo sumy dobowe mogą przekroczyć nawet 400 mm³⁵. Jakkolwiek wraz ze wzrostem powierzchni średnie obszarowe sumy opadu wyraźnie maleją, to z cytowanego wyżej opracowania wynika, że nawet dla zlewni większych niż 1000 km² średni opad dobowy może przekraczać 250 mm.

Tab. 9. Zestawienie rocznych MSDO przekraczających 200 mm, które zarejestrowano na terytorium Polski w latach 1956-1980.

| Nazwa stanowiska | Data | Współrzędne | | | Opad (mm/doba) |
|----------------------|----------|---------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|
| | | X ³⁶ (m) | Y (m) | Hs (m. n.p.m.) | |
| Station name | Date | Easting (m) | Northing (m) | Elevation (m a.sl.) | Precipitation (mm/day) |
| Hala Gąsienicowa | 73-06-30 | 572 600 | 154 100 | 1520 | 300,0 |
| Hala Kondratowa | 73-06-30 | 570 200 | 154 000 | 1333 | 269,4 |
| Leskowiec | 70-07-18 | 532 200 | 214 800 | 870 | 242,9 |
| Stańcowa | 70-07-18 | 538 400 | 187 100 | 850 | 234,4 |
| Kasprowy Wierch | 73-06-30 | 571 400 | 152 200 | 1991 | 232,0 |
| Magurka | 70-07-18 | 509 500 | 212 900 | 900 | 229,3 |
| Zubrzyca Górna | 70-07-18 | 545 700 | 189 000 | 700 | 226,0 |
| Szczyrk | 70-07-18 | 502 300 | 205 400 | 520 | 224,0 |
| Wądołki Borowe | 72-05-14 | 715 900 | 569 800 | 130 | 223,5 |
| Niepołomice | 66-05-29 | 587 000 | 243 200 | 194 | 221,0 |
| Wapienica, zaporą | 72-08-21 | 497 500 | 212 900 | 480 | 215,5 |
| Lipowa | 70-07-18 | 505 900 | 199 900 | 532 | 213,0 |
| Zawodzie | 78-09-08 | 659 400 | 615 800 | 120 | 210,8 |
| Istebna-Młoda Góra | 70-07-18 | 490 200 | 190 600 | 840 | 210,5 |
| Bieńkówka | 70-07-18 | 555 100 | 211 300 | 475 | 209,1 |
| Wałbrzych | 79-06-17 | 310 700 | 325 600 | 490 | 205,6 |
| Hala Ornak | 73-06-30 | 563 000 | 152 100 | 1109 | 205,3 |
| Ustroń-Równica, wieś | 72-08-21 | 489 100 | 205 400 | 640 | 204,5 |

³⁵ Maksymalny opad dobowy zarejestrowany na Ziemi wystąpił z 7 na 8 stycznia 1966 w Foc Foc na wyspie Reunion i miał 1825 mm (WMO 1994 za Hense, Friederichs 2006).

³⁶ Współrzędne prostokątne w układzie 1992/19 zaokrąglone do pełnych setek metrów.



Ryc. 49. Dany i wysokości rocznych MSDO zarejestrowanych na obszarze Polski i w strefie przygranicznej Niemiec w wieloleciu 1956-1980 (61 940 przypadków).

V.9. Podsumowanie rozdziału

- W niniejszej rozprawie analizowano pomiary maksymalnych miesięcznych sum dobowych opadów (MSDO), oraz daty wstąpienia rocznych MSDO z wielolecia 1956-1980 na obszarze obejmującym terytorium Polski i strefę przygraniczną na terenie Niemiec o szerokości około 30 km. Dysponowano bazą danych, na którą składało się ponad 809 000 indywidualnych wartości. Dane pochodzące z Niemiec stanowiły 1-2% całości.
- W Rocznikach Opadowych PIHM/IMGW, które stanowiły główne źródło danych, stwierdzono występowanie licznych błędów. Nie wszystkie podczas archiwizacji i analizy danych udało się wyeliminować.
- Istotnym źródłem niepewności uzyskanych wyników analizy struktury przestrzennej MSDO była niska dokładność lokalizacji stanowisk pomiarowych wynosząca 1 minutę długości i szerokości geograficznej. Związany z tym błąd mógł stanowić nawet jedną czwartą średniej odległości między najbliższymi stanowiskami.
- W analizowanym zbiorze danych występowały też przypadki stanowisk o takich samych współrzędnych lokalizacji. Stanowiły one od około 0,1 do ponad 1 procenta całości uwzględnianych punktów. Ze względu na ich duże znaczenie dla oceny zmienności MSDO na krótkich dystansach zastosowano specjalną procedurę losowego przypisywania im różnego położenia w obrębie niepewności współrzędnych.
- Na podstawie zmian liczebności sieci pomiarów pluwiometrycznych można w analizowanym wieloleciu wyróżnić cztery główne okresy: wzrostu (1956-1963), stabilizacji (1964-1972), ponownego wzrostu (1973-1975) i stopniowego spadku (1976-1980). Średnio w każdym roku wielolecia dysponowano danym z około 2485 punktów.
- Oprócz zmian liczebności w latach 1956-1980 dokonywała się zmiana organizacji sieci. Przez cały ten czas trwała generalna tendencja do bardziej równomiernego rozmieszczenia punktów pomiarowych. Jednocześnie stopniowo likwidowano lokalne skupienia (głównie specjalne sieci miejskie) i lokowano dodatkowe punkty pomiarowe w miejscach, gdzie ich zagęszczenie było najmniejsze.
- Średnia odległość do najbliższego stanowiska wynosiła w analizowanym wieloleciu około 7,3 km, a jej odchylenie standardowe – 3,3 km. Rozkład przestrzenny stanowisk pluwiometrycznych przez cały czas miał charakter zbliżony do losowego.
- Zagęszczenie sieci pomiarowej opadów atmosferycznych było najwyższe na obszarach wyżynnych i górskich południowej Polski, szczególnie w Sudetach, na Górnym Śląsku i w zachodnich Karpatach.
- Biorąc pod uwagę częstość dni z opadem miesięczne MSDO stanowią około 5-8% całego zbioru sum dobowych, zaś roczne MSDO – jedynie około 0,5% zmierzonych opadów dobowych. Selekcja danych miesięcznych eliminuje około 20 do 50% najniższych sum opadów, natomiast rocznych – ponad 95%.
- Zbiory miesięcznych i rocznych MSDO w dwóch trzecich przypadków mają dystrybucję empiryczną zbliżoną do logarytmiczno-normalnej. Poza tym,

najczęściej dopasowywano jeszcze rozkłady wartości ekstremalnych (Gumbela I) i gamma.

- Biorąc pod uwagę zmienność rozkładu MSDO w poszczególnych miesiącach wielolecia, wyróżniono trzy grupy miesięcy: o stabilnym (III-VI), pośrednim (VII-IX, XI-I) i bardzo zmiennym reżimie powtarzalności wysokich opadów (II i X). Anomalie rozkładu MSDO są związane z suszami atmosferycznymi. Najwyższą częstością bardzo niskich MSDO charakteryzuje się luty: dwie trzecie zanotowanych wartości było mniejsze od 10 mm. W lipcu takich opadów było tylko około 9%.
- Średnie miesięczne MSDO wahają się od 8,9 mm w lutym do 27,5 w lipcu.
- Najniższe roczne MSDO w wieloleciu 1956-1980 zawierały się w przedziale od 10,0 mm (rok 1964) do 16,4 mm (rok 1980). Jest to zmienność stosunkowo niewielka wobec zróżnicowania najwyższych rocznych sum dobowych, które wynosiły od 108,1 mm w 1956 roku do 300,0 mm w roku 1973. Średnie rocznych MSDO wahały się od 34,6 mm w roku 1976 do 51,5 mm w roku 1970.
- Dużą uwagę poświęcono analizie zmienności lokalnej MSDO, wyrażonej poprzez różnice wartości zmierzonych w sąsiadujących stanowiskach. W ujęciu sezonowym zmienia się ona od średnio od 2,5 mm w styczniu do 8,2 mm w lipcu. Najwyższe i jednocześnie najbardziej zróżnicowane maksima zmienności lokalnej występują w maju. Między majem a sierpniem zdarzają się w Polsce średnio więcej niż w raz w roku, sytuacje, kiedy na dystansie kilku/kilkunastu kilometrów różnice maksymalnych sum dobowych przekraczają 100 mm. W pozostałych miesiącach są to przypadki sporadyczne. Średnie różnice rocznych MSDO wahały się od 8,0 mm w roku 1962 do 12,8 mm w roku 1965 wynosząc przeciętnie 10,1 mm.
- Zarówno w globalnych, jak i w lokalnych statystykach miesięcznych MSDO stwierdzono silną wprost proporcjonalną zależność między średnią a odchyleniem standardowym. W pierwszym przypadku odchylenie wynosi średnio 57, a w drugim 113% średniej. W rocznych zbiorach MSDO te relacje również istnieją, ale są zdecydowanie słabsze.
- W analizowanym wieloleciu stwierdzono wysoce istotne tendencje malejące niektórych statystyk globalnych i lokalnych MSDO (odchylenia standardowego, maksimów i in.). Zmiany dotyczą tylko miesięcy zimowych, a wśród nich zwłaszcza marca.
- Maksymalne roczne sumy dobowe opadów mogą być w Polsce zarejestrowane każdego dnia w roku. Prawdopodobieństwo ich wystąpienia przed drugą dekadą kwietnia i po połowie października jest jednak bardzo niskie. W 90% przypadków sumy dobowe przekraczających 100 mm notowane były od połowy maja do połowy sierpnia. Losowy charakter wysokich sum opadów dobowych widoczny jest wyraźnie nawet w 25-letniej serii obserwacyjnej dla przekraczającej 2400 stanowisk sieci obserwacyjnej.
- Średnio każdego roku w analizowanym wieloleciu notowano pięćdziesiąt kilka przypadków sum dobowych przekraczających 100 mm, 7-8 wystąpień opadów powyżej 150 mm i jednokrotnie sumy wyższe od 200 mm. Największy odsetek takich zdarzeń miał miejsce w lipcu. Wysokości miesięcznych MSDO o powtarzalności 0,1 (raz na 10 lat) szacować można dla kolejnych miesięcy roku

kalendrzowego na 106, 87, 73, 121, 195, 263, 262, 250, 139, 108, 81 i 81 mm. Roczna MSDO o takiej powtarzalności wynosi około 267 mm. Podane wartości trzeba, ze względu na specyfikę analizowanej bazy danych, traktować jako minimalne.

- Większość z najwyższych, przekraczających 200 mm na dobę, opadów zanotowano w trakcie dwóch epizodów w Karpatach. Maksymalny, w okresie pomiarów instrumentalnych, opad dobowy wynoszący 300 mm zarejestrowano 30 czerwca 1973 na Hali Gąsienicowej w Tatrach. Przypadki ekstremalnych opadów stwierdzonych w bezpośrednim sąsiedztwie granic Polski, a także oceny teoretyczne sugerują, że maksymalne ze względów geograficzno-klimatycznych sumy dobowe mogą sięgać w górach do 400 mm.